ISSN 2949-4796
eISSN 3033-8484

Agrarian Bulletin of the North Caucasus

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА



Том 16 № 3/2026
Vol. No

ISSN 2949-4796
eISSN 3033-8484

Аграрный вестник Северного Кавказа

Том 16 № 3/2026
Периодичность издания — 4 номера в год
Выпуск опубликован 30.09.2026

Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Vol. 16 No 3/2026
The publication is released quarterly
The issue was published on 30.09.2026

УЧРЕДИТЕЛЬ:
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет

ТЕРРИТОРИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ:
Российская Федерация, зарубежные страны

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Криворучко Александр Юрьевич
доктор биологических наук, руководитель отдела генетики и биотехнологий, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Россия
https://orcid.org/0000-0003-4536-1814

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА
Самойленко И. В. – ответственный редактор
Агаркова М. М. – технический редактор
Рязанова М. Н. – выпускающий редактор
Шулякова Е. А. – корректор

АДРЕС: 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12
ЭЛ. ПОЧТА: vapk@stgau.ru
ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ УЧРЕДИТЕЛЯ: www.stgau.ru
ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ РЕДАКЦИИ: www.vapk26.ru

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-85520 от 11.07.2023

ТИРАЖ: 300 экз.
Индекс журнала в «Объединенный каталог. ПРЕССА РОССИИ, Газеты и журналы»: Э83308

FOUNDER:
Stavropol State Agrarian University

AREA DISTRIBUTION:
Russia and other countries

EDITOR-IN-CHIEF
Aleksandr Yu. Krivoruchko
Dr. Sci. (Biol.), Head, Department of Genetics and Biotechnology, North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Mikhailovsk, Russia
https://orcid.org/0000-0003-4536-1814

EDITORIAL TEAM
Samoylenko I. V. – Executive Editor
Agarkova M. M. – Technical Editor
Ryazanova M. N. – Publishing Editor
Shulyakova E. A. – Corrector

ADDRESS: 355017, Stavropol, Zootechnical Lane, 12
E-MAIL: vapk@stgau.ru
FOUNDER WEBSITE: www.stgau.ru
JOURNAL WEBSITE: www.vapk26.ru

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate PI № FS77-85520 July 11, 2023

CIRCULATION: 300 copies
Index of the subscription to the «Combined Catalog. PRESS OF RUSSIA. Newspapers and journals»: E83308

Аграрный вестник Северного Кавказа

«Аграрный вестник Северного Кавказа» — рецензируемый научный журнал открытого доступа, посвященный устойчивому развитию сельского хозяйства и поиску новых решений для продовольственной безопасности.

Северный Кавказ — один из самых разнообразных аграрных регионов России, где соседствуют засушливые степи, влажные субтропики и высокогорья. Такое природное многообразие создает богатую основу для выведения новых сортов и пород, разработки адаптивных технологий и создания новых видов пищевой и лекарственной продукции, востребованной в разных климатических условиях.

Научное поле журнала охватывает полный цикл агропроизводства. При этом редакция заинтересована как в инновационных индустриальных подходах, так и в изучении традиционных этнических практик животноводства, растениеводства и переработки, которые помогают сохранять биоразнообразие и культурный ландшафт в условиях многоукладного аграрного сектора.

Журнал принимает к публикации результаты исследований, выполненных в любых географических регионах мира, однако особый интерес вызывают работы, посвященные специфике Северного Кавказа, а также сравнительные исследования в масштабах всего Кавказского региона и регионов со схожими агроклиматическими условиями.

Индексируется в базе открытого доступа Directory of Open Access Journals (DOAJ).
Является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ)
и Agricultural Research Information System (AGRIS).
Входит в Белый список научных журналов России (3-й уровень).
Зарегистрирован в перечне Высшей аттестационной комиссии рецензируемых научных изданий (Категория 2).
Индексируется и архивируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная

Agrarian Bulletin of the North Caucasus

Agrarian Bulletin of the North Caucasus is a peer-reviewed open-access scientific journal dedicated to sustainable agriculture and the advancement of innovative solutions for food security.

The North Caucasus ranks among Russia's most agriculturally diverse regions, encompassing arid steppes, humid subtropical zones, and high-altitude mountain ecosystems. This remarkable environmental heterogeneity provides a rich foundation for the development of new crop varieties and animal breeds, the design of adaptive cultivation technologies, and the creation of novel food and medicinal products suited to a wide range of climatic conditions.

The journal's scientific scope covers the full agri-production cycle. The editorial board welcomes both cutting-edge industrial approaches and scholarly investigations into traditional ethnic practices of animal husbandry, crop farming, and food processing, which play a vital role in preserving biodiversity and sustaining cultural landscapes within the region's multi-structural agricultural sector.

While the journal accepts research findings originating from any geographical area, it places particular emphasis on studies addressing the specific conditions of the North Caucasus, as well as comparative research conducted across the broader Caucasus region and territories with similar climatic conditions.

The journal is included in Directory of Open Access Journals (DOAJ), Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP) and Agricultural Research Information System (AGRIS).
Included in Russian White List of journals (3 level).
The journal is registered in the list of the Higher Attestation Commission of peer-reviewed scientific publications (Category 2).
Indexed and archived in the Russian Index Science Citation.

The materials are available under license Creative Commons «Attribution» 4.0 International



РЕДАКЦИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Криворучко Александр Юрьевич — главный редактор, доктор биологических наук, руководитель отдела генетики и биотехнологий, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Ставрополь, Россия
https://orcid.org/0000-0003-4536-1814

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

Самойленко Ирина Владимировна — ответственный редактор, кандидат технических наук, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
https://orcid.org/0000-0001-6907-1403

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Агаркова Маргарита Михайловна — технический редактор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
https://orcid.org/0009-0000-9307-3804

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Белова Лариса Михайловна — доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия
https://orcid.org/0000-0003-4473-1940

Белоус Оксана Геннадьевна — доктор биологических наук, доцент, Федеральный исследовательский центр Субтропический научный центр Российской академии наук, Сочи, Россия
https://orcid.org/0000-0001-5613-7215

Гулюкин Михаил Иванович — академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко РАН, Москва, Россия
https://orcid.org/0000-0002-7489-6175

Есаулко Александр Николаевич — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия
https://orcid.org/0000-0003-0441-9055

Зеки Байрамоглу — Dr., PhD, профессор, Сельскохозяйственный факультет, Сельчукский университет, Сельчук, Турция
https://orcid.org/0000-0003-3258-3848

Ильина Лариса Александровна — доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия
https://orcid.org/0000-0003-2789-4844

Кочиш Иван Иванович — академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина, Москва, Россия
https://orcid.org/0000-0001-8892-9858

Кощаев Андрей Георгиевич — академик РАН, доктор биологических наук, профессор, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия
https://orcid.org/0000-0002-3904-2860

Муртазалиев Рамазан Алибегович	доктор биологических наук, доцент, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия https://orcid.org/0000-0002-2895-213X
Оздемиров Алимсолтан Ахмедович	кандидат биологических наук, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия https://orcid.org/0000-0003-2150-2192
Племяшов Кирилл Владимирович	член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия https://orcid.org/0000-0002-3658-5886
Ражабов Тошпулот Файзуллоевич	кандидат биологических наук, доцент, Самаркандский государственный университет им. Шарофа Рашидова, Самарканд, Узбекистан https://orcid.org/0000-0003-2859-5694
Сантросян Гагик	кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Воскеатский научный центр виноградарства и виноделия, Национальный аграрный университет Армении (НАУА), филиал, Ереван, Республика Армения https://orcid.org/0000-0001-9674-9793
Саджад Ганбари	PhD, профессор, кафедра лесного хозяйства, Ахарский факультет сельского хозяйства и природных ресурсов, Тебризский университет, Ахар, Иран https://orcid.org/0000-0002-6568-1025
Скрипкин Валентин Сергеевич	доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия https://orcid.org/0000-0001-8492-0282
Сотникова Лариса Федоровна	доктор ветеринарных наук, профессор, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия https://orcid.org/0000-0001-7138-6463
Сунайна Сингх	PhD, Индийское общество генетических ресурсов растений, Индия https://orcid.org/0000-0002-3514-6806
Сычев Виктор Гаврилович	академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова, Москва, Россия https://orcid.org/0000-0002-2146-5646
Цховребов Валерий Сергеевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия https://orcid.org/0000-0002-4809-3264
Шкуратова Ирина Алексеевна	член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия https://orcid.org/0000-0003-0025-3545

EDITORIAL TEAM

EDITOR-IN-CHIEF

Aleksandr Yu. Krivoruchko Editor-in-Chief, Dr. Sci. (Biol.), Head, Department of Genetics and Biotechnology, North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Stavropol, Russia
https://orcid.org/0000-0003-4536-1814

EXECUTIVE EDITOR

Irina V. Samoylenko Executive Editor, Cand. Sci. (Tech.), Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
https://orcid.org/0000-0001-6907-1403

EDITOR

Margarita M. Agarkova Editor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
https://orcid.org/0009-0000-9307-3804

EDITORIAL BOARD

Zeki Bayramoğlu PhD, Dr., Prof., Faculty of Agriculture, Selçuk University. President of the Eurasian Association of Agricultural Economists, Selçuk, Turkiye
https://orcid.org/0000-0003-3258-3848

Larisa M. Belova Dr. Sci. (Biol.), Prof., Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russia
https://orcid.org/0000-0003-4473-1940

Oksana G. Belous Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia
https://orcid.org/0000-0001-5613-7215

Sajad Ghanbari PhD, Prof., Department of Forestry, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, Iran
https://orcid.org/0000-0002-6568-1025

Mikhail I. Gulyukin Academician of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K. I. Skryabin and Ya. R. Kovalenko RAS, Moscow, Russia
https://orcid.org/0000-0002-7489-6175

Aleksandr N. Esaulko Dr. Sci. (Agric.), Prof. of RAS, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia.
https://orcid.org/0000-0003-0441-9055

Larisa A. Ilina Dr. Sci. (Biol.), Prof., Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint-Petersburg, Russia
https://orcid.org/0000-0003-2789-4844

Ivan I. Kochish Academician of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Prof., Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Skryabin, Moscow, Russia
https://orcid.org/0000-0001-8892-9858

Andrey G. Koshchaev Academician of RAS, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilina, Krasnodar, Russia
https://orcid.org/0000-0002-3904-2860

Ramazan A. Murtazaliev Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia
https://orcid.org/0000-0002-2895-213X

Alimsoltan A. Ozdemirov Cand. Sci. (Biol.), Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia
https://orcid.org/0000-0003-2150-2192

Kirill V. Plemyashov Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russia
https://orcid.org/0000-0002-3658-5886

Toshpulot F. Rajabov Cand. Sci. (Biol.), Samarkand State University named after Sharof Rashidov, Samarkand, Uzbekistan
https://orcid.org/0000-0003-2859-5694

Gagik Santrosyan PhD (Agric.), Voskehat Educational and Research Center for Enology
Armenian National Agrarian University (ANAU) Branch, Yerevan, Republic of Armenia
https://orcid.org/0000-0001-9674-9793

Valentin S. Skripkin Dr. Sci. (Biol.), Prof., Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
https://orcid.org/0000-0001-8492-0282

Larisa F. Sotnikova Dr. Sci. (Vet.), Prof., Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia
https://orcid.org/0000-0001-7138-6463

Sunaina Singh PhD, Indian Society of Plant Genetic Resources, India
https://orcid.org/0000-0002-3514-6806

Viktor G. Sychev Academician of RAS, Dr. Sci. (Agric.), Prof., All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov, Moscow, Russia
https://orcid.org/0000-0002-2146-5646

Valery S. Tskhovrebov Dr. Sci. (Agric.), Prof., Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia
https://orcid.org/0000-0002-4809-3264

Irina A. Shkuratova Corresponding Member of RAS, Dr. Sci. (Vet.), Prof., Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia
https://orcid.org/0000-0003-0025-3545

СОДЕРЖАНИЕ

А.Х. Аль-Дохи, Х.Д. Аль-Харави, С.А. Халаф
Роль интернета в распространении современных сельскохозяйственных технологий, связанных с посевами желтой кукурузы, с точки зрения работников сельского хозяйства в районе Аль-Алам / провинция Салах-эд-Дин в Ираке 11

Г.В. Комлацкий, Г.А. Терещенко, М.Г. Комлацкая
Значение контрактного опыления в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивости агроэкосистем юга России 24

М. Кристиан, С. Вибово, О.М. Музаммиль, Х. Юлита, Г.Д. Рембулан
Изучение поведенческих и здоровьеориентированных факторов, определяющих устойчивые повторные покупки органических продуктов питания 42

Н.М. Аль-азауи
Изучение активности антиоксидантных ферментов у различных генотипов кукурузы 57

А.Х. Малкандуева, Х.А. Малкандуев, Р.И. Шамурзаев, М.В. Кашукоев, М.А. Базгиев, К.Ш. Бадургова
Оценка пластичности и стабильности сортов озимого ячменя в агробиоценозе Кабардино-Балкарии 66

Л.А. Габибуллаева, Ш.А. Балаева
Биохимический состав плодов кизила обыкновенного в природных популяциях Дагестана 80

Е.А. Рыбалко, Н.В. Баранова, А.С. Ерхова
Влияние агроклиматических факторов на формирование качественных показателей винограда в процессе его созревания 92

Х.Ш. Тарчоков, М.Ш. Гаплаев, М.Х. Жекамухов
Совершенствование технологии возделывания нового гибрида кукурузы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии 103

В.М. Горшков, А.С. Кулешов, Р.В. Кулян
Влияние Лигногумата АМ на морфологию, урожайность и товарное качество плодов Citrus reticulata var. unshiu ‘Kowano Wase’ в условиях субтропиков России 115

В.В. Бесчетников, О.С. Безуглова
Влияние гуминового препарата на растения ярового ячменя в условиях стресса от повышенного содержания свинца 125

CONTENTS

A.H. Al-Dokhi, K.J. Al-Harawi, S.A. Khalaf
The role of internet in disseminating modern agricultural technologies related to yellow corn crops from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District / Salahaddin Province in Iraq 10

G.V. Komlatsky, G.A. Tereshchenko, M.G. Komlatskaya
The importance of contract pollination in ensuring food security and sustainability of agroecosystems in southern Russia 25

M. Christian, S. Wibowo, O. M. Muzammil, H. Yulita, G. D. Rembulan
Understanding sustainable organic food repurchase through behavioral and health factors 41

N.M. Al-Azawi
Study of activity antioxidant enzymes in several of maize genotypes 56

Aminat Kh. Malkanduyeva, Khamid A. Malkanduyev, Rustam I. Shamurzayev, Murat V. Kashukoyev, Magomed A. Bazgiev, Kulsum Sh. Badurgova
Evaluation of plasticity and stability in winter barley varieties in the agrobiocenosis of Kabardino-Balkaria 67

Leila A. Gabibullaeva, Shamsiyat A. Balayeva
Biochemical composition of cornelian cherry fruits in natural populations of Dagestan 81

Evgeniy A. Rybalko, Natalia V. Baranova, Alina S. Erkhova
Effect of agro-climatic factors on the formation of grape quality indicators during the ripening process 93

Hasan Sh. Tarchokov, Magomed Sh. Gaplaev, Magomed Kh. Zhekamukhov
Improving cultivation technology for a new maize hybrid in the steppe zone of Kabardino-Balkaria 104

V.M. Gorshkov, A.S. Kuleshov, R.V. Kulyan
Effect of Lignohumate AM on morphology, yield and commercial quality of Citrus reticulata var. unshiu 'Kowano Wase' fruits under the subtropical conditions of Russia 116

Vladimir V. Beschetnikov, Olga S. Bezuglova
Effect of a humic preparation on spring barley plants under elevated lead stress 126

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-119

The role of internet in disseminating modern agricultural technologies related to yellow corn crops from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District / Salahaddin Province in Iraq

CORRESPONDENCE:
Ahmed Hamad Al-Dokhi
E-mail: amohamed@tu.edu.iq

FOR CITATION:
Al-Dokhi A.H., Al-Harawi K.J., Khalaf S.A.
The role of internet in disseminating modern agricultural technologies related to yellow corn crops from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District / Salahaddin Province in Iraq. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):10-23. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-119

RECEIVED: 06.05.2026
REVISED: 14.07.2026
ACCEPTED: 15.07.2026
PUBLISHED ONLINE: 03.08.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

ACKNOWLEDGMENTS
The authors would like to express sincere gratitude to the Faculty of Basic Education-Al-Shirqat and College of Agriculture in Tikrit University for their support in facilities and support necessary to complete this research.

COPYRIGHT: © 2026 Al-Dokhi A.H., Al-Harawi K.J., Khalaf S.A.

A.H. Al-Dokhi ✉[1], K.J. Al-Harawi [2], S.A. Khalaf [3]

[1] Department of Science, Faculty of Basic Education-Al-Shirqat, Tikrit University, Salah Aldin, Iraq

[2] Department of Agricultural Economics and Extension, College of Agriculture, Tikrit University, Salah Aldin, Iraq

[3] Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Science-Al-Shirqat, Tikrit University, Salah Aldin, Iraq

ABSTRACT

INTRODUCTION. The internet has become an important tool for disseminating agricultural information and modern technologies, contributing to the improvement of agricultural extension services and farmers' access to knowledge.

AIM. To determine the role of the internet in disseminating modern agricultural technologies for yellow corn from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District, Salah al-Din Governorate. It also sought to identify variations in the perceived role of the internet according to age, gender, years of service, participation, and attitude.

MATERIALS AND METHODS. The research population consisted of all 31 agricultural employees working in the Al-Alam Agriculture Division, Hamrin Agriculture Division, and Agricultural Research Station. A questionnaire was developed comprising two parts: personal characteristics of respondents and 19 agricultural practices related to yellow corn cultivation. A three-point scale (high, medium, low) was used to assess the role of the internet in disseminating agricultural technologies. Data were analyzed using Microsoft Excel and SPSS through descriptive statistics and one-way analysis of variance (ANOVA).

RESULTS. The findings revealed that the role of the internet in disseminating agricultural technologies for yellow corn was perceived as moderate. Among the internet platforms, YouTube ranked first in disseminating modern agricultural technologies.

CONCLUSION. The study concluded that agricultural employees in Al-Alam District require additional training in the use of e-extension tools to enhance the dissemination of agricultural technologies for yellow corn. Encouraging agricultural staff to follow official YouTube channels of governmental and agricultural extension institutions may further improve access to reliable agricultural information.

KEYWORDS: Internet, Agricultural Extension, E-Extension, Yellow Corn, Agricultural Technologies, YouTube, Agricultural Employees

Исследовательская статья

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-119

Роль интернета в распространении современных сельскохозяйственных технологий, связанных с посевами желтой кукурузы, с точки зрения работников сельского хозяйства в районе Аль-Алам / провинция Салах-эд-Дин в Ираке

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Аль-Дохи Ахмед Хамад
E-mail: amohamed@tu.edu.iq

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Аль-Дохи А.Х., Аль-Харави Х.Д., Халаф С.А.
Роль интернета в распространении современных сельскохозяйственных технологий, связанных с посевами желтой кукурузы, с точки зрения работников сельского хозяйства в районе Аль-Алам / провинция Салах-эд-Дин в Ираке. *Аграрный вестник Северного Кавказа.* 2026;16(3):10-23. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-119 EDN IYAKQZ

ПОСТУПИЛА: 06.05.2026
ДОРАБОТАНА: 14.07.2026
ПРИНЯТА: 15.07.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 03.08.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ
Авторы выражают искреннюю признательность факультету базового образования – Эш-Ширкат и сельскохозяйственному факультету Университета Тикрита за предоставленную материально-техническую базу и поддержку, необходимые для выполнения данного исследования.

COPYRIGHT: © 2026 А.Х. Аль-Дохи, Х.Д. Аль-Харави, С.А. Халаф

А.Х. Аль-Дохи [1], Х.Д. Аль-Харави [2], С.А. Халаф [3]

[1] Кафедра естественных наук, Факультет базового образования — Эш-Ширкат, Университет Тикрит, Салах-эд-Дин, Ирак

[2] Кафедра экономики сельского хозяйства и аграрного консультирования, Сельскохозяйственный колледж, Университет Тикрит, Салах-эд-Дин, Ирак

[3] Кафедра пищевых наук и технологий, Факультет пищевых наук — Эш-Ширкат, Университет Тикрит, Салах-эд-Дин, Ирак

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Интернет стал важным инструментом распространения информации и современных технологий в сфере сельского хозяйства, способствуя улучшению услуг агроконсультирования и доступа фермеров к знаниям.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – определить роль интернета в распространении современных агротехнологий для желтой кукурузы с точки зрения работников сельского хозяйства в районе Аль-Алам провинции Салах-эд-Дин, а также выявить различия в восприятии данной роли в зависимости от возраста, пола, стажа работы, степени участия и личного отношения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании участвовал 31 работник сельского хозяйства, занятый в Отделе сельского хозяйства Аль-Алама, Отделе сельского хозяйства Хамрина и на Сельскохозяйственной опытной станции. Был разработан опросный лист, включающий две части: личные характеристики респондентов и 19 агротехнических приемов, связанных с возделыванием желтой кукурузы. Для оценки роли интернета в распространении сельскохозяйственных технологий использовалась трехбалльная шкала (высокая, средняя, низкая). Данные анализировались с помощью Microsoft Excel и SPSS с применением описательной статистики и однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

РЕЗУЛЬТАТЫ. Полученные данные показали, что роль интернета в распространении агротехнологий для желтой кукурузы оценивается как средняя. Среди интернет-платформ YouTube занял первое место по распространению современных сельскохозяйственных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Исследование показало, что работники сельского хозяйства в районе Аль-Алам нуждаются в дополнительном обучении по использованию инструментов электронного агроконсультирования для повышения эффективности распространения сельскохозяйственных технологий для желтой кукурузы. Поощрение работников сельского хозяйства к подписке на официальные YouTube-каналы государственных учреждений и организаций агроконсультирования может дополнительно улучшить доступ к достоверной информации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интернет, агроконсультирование, электронное консультирование, желтая кукуруза, сельскохозяйственные технологии, YouTube, работники сельского хозяйства

INTRODUCTION

Agriculture represents a major source for many industries associated with the national economy, including food and textile industries. It also constitutes a vital component in achieving food security for the population and serves as a broad demographic system that significantly influences social and economic life [1]. Furthermore, the development of the agricultural sector has become an urgent necessity for achieving sustainable development, as this sector represents one of the fundamental pillars of economic and social development processes. Its importance is even greater in developing countries, where agriculture forms the backbone of the national economy. Achieving agricultural development requires the availability and adoption of new agricultural technologies and innovations [2]. Given the importance of the agricultural sector, numerous organizations concerned with agriculture and rural communities have emerged, among which agricultural extension is considered one of the most significant institutions contributing to agricultural advancement and the improvement of rural livelihoods [3]. Agricultural extension is regarded as the cornerstone of the agricultural development process, as farmers cannot effectively benefit from modern agricultural technologies without extension support. Agricultural extension services are responsible for disseminating these technologies, persuading farmers to adopt them, and linking them with agricultural research centers to facilitate the transfer of modern agricultural innovations and provide training on their practical application [4]. Modern technologies have proven to be essential tools for addressing agricultural problems, indicating that the availability of such technologies forms the basis for solving agricultural challenges. Nevertheless, despite the apparent simplicity of this process, practical implementation remains difficult because some technologies may not be suitable for certain agricultural regions or may not be easily transferable [5].

Among the strategic agricultural crops for which agricultural extension seeks to disseminate modern technologies is maize (yellow corn), which ranks second after wheat in importance. Maize is used in bread production in rural areas at a rate of approximately 20% when mixed with wheat flour. It is also extensively utilized in the production of livestock and poultry feed, accounting for nearly 70% of feed components. In addition, maize is used in the production of starch and corn oil, while its green vegetative parts serve as animal fodder [6]. Owing to its strategic importance for food security, livestock production, and agro-industrial uses, increasing yellow maize productivity has become a priority that requires the effective dissemination of modern agricultural technologies. Consequently, understanding the communication channels through which these technologies can be transferred to farmers is of considerable importance.

In this context, agricultural extension plays a crucial role in transferring modern agricultural technologies and encouraging farmers to adopt advanced practices that surpass the traditional methods currently implemented in their fields [7]. Despite its substantial contribution to rural development, agricultural extension faces several challenges, including the declining number of extension agents relative to the growing number of farmers, as well as limitations in effectively delivering technical information to agricultural producers. With the rapid advancement of information technology, the concept of "electronic agricultural extension" (E-Extension) has emerged to support the work of agricultural extension agents through internet-based communication. Social media platforms such as Facebook *, WhatsApp *, and YouTube have become effective tools for disseminating agricultural technologies and exchanging agricultural information [8]. These platforms are increasingly considered preferred channels for receiving and sharing agricultural knowledge and innovations [9]. Despite the growing interest in the use of social media and internet-based technologies in agricultural extension, previous studies have mainly focused on farmers as end users of these technologies. Comparatively, limited attention has been given to assessing the role of social media platforms in disseminating agricultural technologies from the perspective of agricultural workers, who are directly responsible for planning and implementing extension activities. Furthermore, empirical evidence on the use of Facebook, YouTube, and WhatsApp in agricultural extension remains limited in the Iraqi context, indicating the need for further investigation.

* Facebook and WhatsApp, referenced in the article, are owned by Meta, a company designated as an extremist organization and banned in the Russian Federation.
Facebook и WhatsApp, упоминаемые в статье, принадлежат компании Meta, признанной экстремистской организацией и запрещенной на территории Российской Федерации.

Facebook, for example, is widely used to establish communication groups between farmers and extension agents for knowledge exchange and immediate consultation, in addition to facilitating the sharing of written, audio, and visual materials [10; 11]. YouTube is utilized to publish educational videos demonstrating the use of agricultural machinery and technologies, including irrigation techniques, fertilization methods, and pest management practices, while providing detailed visual explanations [12]. Similarly, WhatsApp enables the creation of instant communication groups between farmers and extension personnel, thereby facilitating the rapid exchange of technical recommendations and practical solutions to agricultural problems [13]. Consequently, agricultural extension agents must possess adequate knowledge and skills related to modern communication technologies and effectively employ them in transforming extension services into educational programs that enhance farmers' technical awareness regarding important crops such as maize. These technologies also contribute to transferring agricultural research findings to farmers in ways that suit their conditions and encourage the adoption of sound agricultural practices [14]. Agricultural workers constitute a key component of the agricultural extension system because they act as intermediaries between agricultural research institutions and farmers. Their perceptions of the effectiveness of social media platforms can provide valuable insights into the opportunities and challenges associated with the dissemination of agricultural technologies through digital extension approaches. One of the most significant achievements of the technological revolution in communication and information systems is that geographical distance is no longer an obstacle to the exchange of information at local, regional, or international levels. The integration of mobile phone technologies with satellite communication technologies has enabled the rapid transfer of news, information, and technological updates, making it increasingly difficult for any authority to conceal information from the public [15]. Social media platforms have become effective means for disseminating agricultural information and technologies, evolving continuously alongside technological developments and modern innovations [16]. These platforms facilitate the rapid delivery and dissemination of information and technologies to large numbers of people and have become dominant communication tools that penetrate nearly all sectors of society [17].

Basically, Social media platforms are characterized by their rapid dissemination capabilities, as a single piece of information can spread globally and be shared among millions of users within minutes. These technologies provide substantial opportunities for agricultural extension personnel to improve their professional performance, enhance interaction with farmers, and facilitate access to extension materials at relatively low costs. Moreover, social media applications have become widely accessible through mobile phone networks, allowing communication and information dissemination in almost any location while simultaneously providing educational and extension materials directly through mobile devices [18]. These platforms serve as important tools for transferring and exchanging information worldwide and have become highly influential in the field of agricultural extension [19]. Platforms such as WhatsApp, Facebook, and YouTube have become integral parts of daily life for communication and entertainment, and both public and private sectors increasingly employ them in various fields, including marketing and agricultural awareness activities [20].

In light of the widespread availability of modern communication technologies, particularly the internet, and their accessibility to all individuals regardless of specialization or orientation, the researcher was motivated to investigate the role of these communication technologies in disseminating agricultural technologies related to maize cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District. Accordingly, this study was designed to answer the following research questions:

1 – What is the role of the internet in disseminating modern agricultural technologies for yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district in general?

2 – What is the role of the internet in disseminating agricultural technologies for yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district, according to the platforms represented by... (Facebook, YouTube, WhatsApp)?

3 – What is the ranking of the platforms (Facebook, YouTube, WhatsApp) in descending order for disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District?

4 – Is there a variation in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District, according to personal factors such as (age, gender, years of service, participation, and orientation)?

Al-Alam District was selected as the study area because of its agricultural importance and the increasing need to employ modern communication technologies to support agricultural extension activities and facilitate the dissemination of agricultural innovations among farming communities.

This study contributes to the agricultural extension literature by providing empirical evidence on the role of Facebook, YouTube, and WhatsApp in disseminating modern agricultural technologies related to yellow maize production from the perspective of agricultural workers. The findings are expected to support the development of more effective E-Extension programs and enhance the utilization of digital communication platforms in agricultural technology transfer.

Research Objectives:

1 – To identify the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District in general.

2 – To identify the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District, according to the platforms represented by Facebook, YouTube, and WhatsApp.

3 – To rank the platforms represented by Facebook, YouTube, and WhatsApp in descending order according to their role in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District.

4 – To determine the variation in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District, according to personal factors represented by age, gender, years of service, participation, and attitude. Statistical Hypotheses:

The statistical hypotheses were formulated based on the studied independent factors, as follows:

1 – There are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, according to the age groups of agricultural employees in Al-Alam District.

2 – There are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, according to the gender groups of agricultural employees in Al-Alam District.

3 – There are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, according to the years of service of agricultural employees in Al-Alam District.

4 – There are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, according to the participation in extension activities related to yellow corn, according to the participation of agricultural employees in Al-Alam District.

5 – There are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District, according to their attitudes towards using the internet to obtain information about modern agricultural technologies.

Operational Definitions:

1 – Internet: A communication network between individuals, whether via mobile phone or computer, for obtaining agricultural information, communicating with experts and relevant authorities, and following developments in yellow corn cultivation through websites.

2 – Dissemination of Modern Agricultural Technologies: This refers to delivering information and modern agricultural innovations related to yellow corn cultivation to farmers through agricultural employees in the agricultural division of Al-Alam District, using social media platforms.

3 – Agricultural Employees: Employees working in agricultural departments in Al-Alam District who hold agricultural qualifications.

4 – Participation: The participation of agricultural employees in extension activities related to yellow corn cultivation in Al-Alam District.

MATERIALS AND METHODS

Relevance and Subject Area

The research problem is formulated in a generally understandable manner. The study examines the role of the internet, and particularly digital platforms like

Facebook, YouTube, and WhatsApp, in the dissemination of modern agricultural technologies related to yellow maize production, from the perspective of agricultural workers. In this respect, the topic corresponds to a current and relevant research area in terms of the increasing importance of digitalization and e-extension applications in agricultural extension.

Although previous studies have examined the use of information and communication technologies in agriculture, limited attention has been given to the role of the internet in disseminating modern agricultural technologies among agricultural employees in Iraq. This study addresses this gap by focusing on Al-Alam District, where yellow maize is an important crop requiring continuous technological updates. Agricultural employees play a central role in transferring agricultural knowledge and innovations to farmers; therefore, understanding their perceptions of the internet's role can provide valuable insights for strengthening digital extension services. The study contributes empirical evidence from a local context that remains insufficiently represented in the literature.

Research Population

The research population comprised all agricultural employees in Al-Alam District, totaling (31) employees distributed across three agricultural departments, as shown in Table 1.

Table 1
Distribution of Agricultural Employees in the Research Population Across Agricultural Departments in Al-Alam District

No.	Agriculture Directory	Number
1	Al-Alam Division	16
2	Hamrin Agriculture Division	5
3	Agricultural Research Station	10
—	SUM	31

Questionnaire Design: After reviewing previous studies, literature, and conducting interviews with specialists, a questionnaire was designed consisting of two parts. The first part included independent variables related to agricultural employees, namely age, gender, years of service, participation, and attitude. The second part included 19 items, each representing a technique in the cultivation and management of yellow corn. Three alternatives were provided for each item: high, medium, and low.

Measurement of Independent Variables

1. Age: Measured by the number of years the respondent was old at the time of data collection.
2. Gender: Measured using the alternatives (male and female), with values of 1 and 2 assigned, respectively.
3. Years of Service: Measured by asking the respondent about their years of service in agricultural departments.
4. Position: Measured using the alternatives (employee, unit head, and division head), with values of 1, 2, and 3 assigned, respectively.
5. Participation: This was measured using two alternatives (participant, non-participant), which were assigned values of 1 and 2, respectively.
6. Attitude: This was measured using six statements, three positive and three negative. The alternatives (agree, neutral, disagree) were provided for each statement. The positive statements were assigned values of 1, 2, and 3, respectively, and the negative statements were assigned values of 1, 2, and 3, respectively. Thus, the values representing attitude ranged from 6 to 18.

Measuring the Dependent Variable

The role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn was measured from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district. This was done using nineteen items representing modern agricultural technologies for cultivating the crop. The alternatives (great, medium, small) were provided for each item, and the values representing the role of each platform ranged from 19 to 57 numerical values. The values representing the role of the internet in general ranged from 57 to 171.

Statistical Methods and Tools

To achieve the research objectives, Microsoft Excel and SPSS were used, along with several statistical tools, including:

1 – Range: Used to distribute the independent variables into categories according to the following formula [21]:

$$\text{Range} = \text{Highest value} - \text{Lowest value}.$$

Class width = (Variable range) / Number of classes (results rounded to the nearest whole number).

2 – Arithmetic Mean: Used to describe the research variables and to calculate the mean of the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees, according to the following formula [22]:

$$\overline{X} = \frac{\Sigma xi}{h}.$$

3 – Standard Deviation: Used to describe the deviations of values from their arithmetic means for the variables included in the research [23] according to the following law:

$$S.d = \sqrt{\frac{\sum xi^2 - \frac{\left(\sum xi\right)^2}{n}}{n-1}}.$$

4 – T-test: Used to determine the significance of differences in the reasons for reluctance with the two-category independent factors [24]

$$T = \frac{\left(x^{-}1 - x^{-}2\right)}{sp\sqrt{sp\left(\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}\right)}}.$$

5 – One-Way Analysis of Variance (ANOVA).

Used to determine the significance of differences between the arithmetic means of variables divided into three or more categories, according to the following formula [25]:

$$F = \frac{S^2 B}{S^2 W}.$$

RESULTS AND DISCUSSION

The results were presented and discussed according to the following research objectives:

The first objective: To identify the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district in general.

The values representing the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the respondents' perspective in general ranged between (107–148), with a mean of (128.71) and a standard deviation of (9.18). The respondents were divided into three groups based on range and group length, and the results are shown in Table 2.

Table 2
Distribution of Respondents by Level of Perceived Internet Role in Disseminating Yellow Corn Technologies

Categories	Number	Percentage	Average
Low (107–120)	7	22.58	117.71
Average (121–134)	18	58.06	128.39
High (135–148)	6	19.36	142.51
SUM	31	100%	—

Table 2 shows that more than half of the respondents fall into the middle category, with a percentage of (58.06) and an arithmetic mean of (128.39). This is followed by the low category, with a percentage of (22.58) and an arithmetic mean of (117.71). Thus, the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn is moderate. This may be due to the lack of training courses for agricultural staff in using the internet and how to record and send extension messages via internet platforms.

The second objective: To identify the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district, using the following platforms:

1. Facebook: The values representing the role of Facebook in disseminating agricultural technologies related to yellow corn, from the respondents' perspective, ranged between (27–49), with a mean of (39.00) and a standard deviation of (5.98). The respondents were divided into three categories based on the range and length of the category, as shown in Table 3.

Table 3
Levels of Facebook's Role in Disseminating Modern Yellow Corn Cultivation Technologies as Perceived by Respondents

Categories	Number	Percentage	Average
Low (27–34)	8	25.81	31.00
Average (35–42)	15	48.38	39.33
High (43–50)	8	25.81	46.37
SUM	31	100%	—

Table 3 shows that the highest percentage was in the middle category, with a percentage of 48.38 and a mean of 39.33. Therefore, the role of Facebook in disseminating agricultural techniques related to yellow corn, from the respondents' perspective, is considered moderate. This may be due to the use of Facebook for personal and social purposes, rather than exchanging agricultural information on the platform for dissemination among farmers.

2. YouTube: The values representing the role of YouTube in disseminating agricultural techniques related to yellow corn, from the respondents' perspective, ranged between 35 and 59, with a mean of 47.35 and a standard deviation of 5.75. The respondents were divided into three categories based on range and category length, and the results are shown in Table 4.

Table 4
Distribution of Respondents According to Their Perceived Role of YouTube in Disseminating Modern Yellow Corn Cultivation Technologies

Categories	Number	Percentage	Average
Low (35–42)	6	19.36	40.16
Average (43–50)	15	48.38	45.86
High (51– over)	10	32.26	53.90
SUM	31	100%	—

Table 4 shows that the highest percentage was in the middle category, with a percentage of (48.38) and a mean of (45.86), followed by the high category, with a percentage of (32.26) and a mean of (53.90). Thus, the role of YouTube in disseminating agricultural techniques for yellow corn, from the respondents' perspective, is moderate to high. This may be because YouTube is considered an effective and essential platform for widely disseminating modern agricultural techniques for yellow corn due to its simplified, easy-to-understand visual content.

3. WhatsApp: The values representing the role of WhatsApp in disseminating agricultural techniques for yellow corn, from the respondents' perspective, ranged between (35–53), with a mean of (42.36) and a standard deviation of (4.34). The respondents were divided into three categories based on range and category length, and the results are shown in Table 5.

Table 5
Distribution of Respondents According to Their Perceived Role of WhatsApp in Disseminating Modern Yellow Corn Cultivation Technologies

Categories	Number	Percentage	Average
Low (35–40)	10	32.26	37.90
Average (46–41)	16	51.61	42.81
High (47– over)	5	16.13	49.81
SUM	31	100%	—

Table 5 shows that the highest percentage is in the middle category (51.61%) with an average of 42.81%, followed by the low category (32.26%) with an average of 37.90%. Thus, the role of WhatsApp in disseminating agricultural techniques related to yellow corn, from the respondents' perspective, is average and tends towards low. This may be because WhatsApp uses only text messages for information exchange and lacks the ability to clearly explain the guidance message and its application.

The third objective was to rank the internet platforms (Facebook, YouTube, and WhatsApp) in descending order based on their role in disseminating agricultural techniques related to yellow corn cultivation, from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district.

The internet platforms were ranked in descending order according to the arithmetic mean, and the results are shown in Table 6.

Table 6
Ranking of Internet Platforms by Their Role in Disseminating Modern Yellow Corn Cultivation Technologies

No.	Social Media	Mean	Order
1	YouTube	47.35	1
2	WhatsApp	42.36	2
3	Facebook	39.00	3

Table 6 shows that YouTube ranked first among the platforms. This may be due to its ability to effectively disseminate and clarify guidance messages through audio and video, and the ease with which internet users can access its educational content.

The fourth objective: To determine the variation in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District, according to the following personal factors:

1. Age: The ages of the respondents ranged from 22 to 51 years. They were divided into three age groups according to the range law to determine their views on the role of the internet in disseminating modern agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District, Salah al-Din Governorate. The highest percentage of employees was found to be in the younger age group. To determine the significance of the differences between the mean scores of the age groups, one-way ANOVA was used, and the results are shown in Table 7.

Table 7 shows that P > 0.05, where it reached 0.000. Therefore, we reject the statistical hypothesis stating that there are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district, according to age groups. To determine the source of the variance, the LSD test was used, and the results are shown in Table 8.

Table 8 shows that the difference between the (young: elderly) and (middle: elderly) categories favors the elderly. This may be because older employees are more aware of the rapid spread of modern agricultural technologies via the internet compared to the traditional extension methods they relied on.

2. Gender: The respondents were divided into two gender groups. Males scored lower than females. To test the significance of the differences between the male and female groups, a t-test was used, and the results are shown in Table 9.

Table 9 shows that the P > 0.05 value supports the statistical hypothesis that there are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district, based on gender.

Table 7
Results of One-Way ANOVA for Differences in Respondents' Perceptions According to Age Group

T	Categories	Number	Percentage	Average Size of Determinants	Value F	Level Probability	Significance Statistics
1	Young adults (23–33) years	11	35.48	124.91	11.308	0.000	Significantly
2	Middle age (34–42) years	13	41.94	125.92			
3	Elderly people (43 and 54)	7	22.58	139.86			
	SUM	31	100%	128.71			

Table 8
Results of the LSD Post Hoc Test for Differences According to Years of Service

Categories	Mean Difference	Probability Level	Significance Statistical
Young: elderly	1.01	7.290	Non-significant
Middle: elderly	14.95*	0.000	Significant
Elderly people	13.94*	0.000	Significant

Table 9
Results of the Independent-Samples t-Test for Differences According to Gender

Gender	Number	Percentage	Mean	Value t	Probability Level	Significance Statistics
Males	24	77.42	127.46	1.422	0.1860	Non-significant
Females	7	22.58	133.00			
SUM	31	100%	—			

3. Years of Service: The values representing the number of years of service for employees ranged from 1 to 21 years. These employees were distributed into three categories according to this range. To determine the significance of the differences in the means of these categories, one-way ANOVA was used, and the results are shown in Table 10.

Table 10
One-Way ANOVA Results by Years of Service Category

T	Categories	Number	Percentage	Mean	Value F	Level Probability	Significance Statistics
1	Young adults (23–35) years	16	51,61	126.38	5.297	0.011	Significantly
2	Middle age (36–48) years	6	19,35	126.17			
3	Elderly people (49 and over)	9	29,04	136.11			
—	SUM	31	100%				

Table 10 shows that P > 0.05, where it reached 0.011. Therefore, we reject the statistical hypothesis stating that there are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district, according to their years of service. To determine the source of the variance, the LSD test was used, and the results are shown in Table 11.

Table 11
LSD Test Results by Years of Service Category

Categories	Mean Difference	Probability Level	Significance Statistical
Short: Middle	0.21	9.550	Non-significant
Short: Long	9.73*	0.050	Significant
Middle: Long	9.94*	0.190	Significant

Table 11 shows that the source of the discrepancy between the (short: long) and (medium: long) service categories favors the long service category. This may be because employees with long service are aware of the importance and speed of using modern methods in disseminating agricultural technologies, in addition to saving time and effort. This makes them appreciate the role of the internet in spreading modern agricultural technologies, particularly those related to yellow corn.

4. Participation: The respondents were divided into two participation categories. It was found that the participating category had a higher average score than the non-participating category. To test the significance of the differences between the averages of the two categories, a t-test was used. The results are shown in Table 12.

Table 12
T-Test Results by Participation Category

Categories	Number	Percentage	Mean	Value t	Probability Level	Significance Statistics
Participant	22	70,97	131.95	3.657	0.001	Significant
Non-Participant	9	29,03	120.78			
SUM	31	100%				

Table 12 shows that the p-value is > 0.05. Therefore, we reject the statistical hypothesis stating that there are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district, based on their participation in yellow corn extension activities. This may be because agricultural employees participating in yellow corn extension activities tend to follow online publications about cultivation technologies and attempt to share them with farmers.

Table 12 shows that the p-value is > 0.05. Therefore, we reject the statistical hypothesis stating that there are no statistically significant differences in the role of the internet in disseminating agricultural technologies related to yellow corn cultivation, from the perspective of agricultural employees in Al-Alam district, based on their participation in yellow corn extension activities.

5. Attitude: The values expressing the respondents' attitude towards using the internet to obtain modern agricultural information ranged between (8–16). They were divided into three categories to determine their viewpoint on the role of the internet in disseminating technologies related to yellow corn crops in Al-Alam district. It was found that the third category (positive) obtained the highest average among the categories. To test the significance of the differences between the averages of the categories, one-way analysis of variance was used, and the results were shown in Table 13.

Table 13
ANOVA Results by Attitude Category Toward Internet Use for Agricultural Information

Categories	Number	Percentage	Mean	Value F	Probability Level	Significance Statistical
Negative (8–11)	4	22.58	123.00	1.450	0.252	Non-significant
Neutral (11–13)	16	48.39	128.06			
Positive (14–16)	11	29.03	131.73			
SUM	31	100%				

Table 13 shows that (P > 0.05) where it reached (0.252). Therefore, we accept the statistical hypothesis that states (there are no statistically significant differences in the role of the Internet in disseminating agricultural technologies related to the cultivation of yellow corn from the point of view of agricultural employees in Al-Alam district according to the categories of attitude towards using the Internet to obtain information about modern agricultural technologies).

CONCLUSIONS

In light of the research findings, we can conclude the following:

1 – Urgent Need for Digital Training and E-Extension: Based on the finding that the majority of respondents perceive the internet's current role as moderate, it is concluded that agricultural staff in Al-Alam District (Salah al-Din Governorate) urgently require specialized training programs. These programs should focus on leveraging E-Extension methods to effectively formulate and disseminate modern agricultural technologies related to yellow corn crops.

2 – The Superiority of Interactive Visual Content (YouTube): Since YouTube ranked first among the evaluated social media platforms, it is concluded that agricultural extension employees strongly prefer video-based, explanatory content. Visual demonstrations are highly effective because they engage multiple senses simultaneously, thereby simplifying complex agricultural processes and management practices for yellow corn cultivation.

3 – Significance of Demographic and Professional Factors: The existence of statistically significant variations in the perceived role of the internet based on age, years of job service, and prior participation in extension activities leads to a crucial conclusion. Policymakers and extension administrators must strategically consider these personal and professional factors when assigning, training, and distributing tasks to employees tasked with spreading modern agricultural technologies.

4 – Bridging the Gap from Neutrality to Active Digital Adoption: Because nearly half of the surveyed agricultural employees maintained a "neutral" attitude toward using the internet for modern agricultural information, it is concluded that there is a critical need to enhance their awareness. Developing their cognitive understanding of the internet's value will motivate them to fully embrace it as a vital mass communication tool capable of effectively transferring agricultural innovations to farmers.

Recommendations:

1. To provide training courses for agricultural staff in the study area on how to create and publish extension messages via the internet.
2. To guide respondents to use YouTube as a platform for disseminating extension messages and urgent recommendations related to weather fluctuations and the spread of certain diseases, in order to reach the largest possible number of farmers quickly.
3. To encourage agricultural staff to follow the official YouTube channel of the Ministry of Agriculture, which publishes educational videos on modern agricultural technologies.

4. To encourage agricultural staff to produce field videos and document successful local experiences in cultivating yellow corn and other crops, and publish them via the internet. 5. To develop the attitudes of agricultural staff in the Al-Alam district towards using the Internet in extension work as an interactive tool that helps spread modern agricultural technologies and work on creating special groups for farmers.
5. Future research should consider larger and more geographically diverse samples, include farmers as primary beneficiaries of extension services, utilize actual social media usage data, and examine the effects of digital extension and e-publishing applications on farmers' knowledge, attitudes, and adoption of modern agricultural technologies.

Contributions

A. H. Al-Dokhi: conceptualization, project administration, writing-original draft.

K. J. Al-Harawi: investigation, methodology, data curation.

S. A. Khalaf: formal analysis, data analysis, writing-review & editing.

Вклад авторов

А. Х. Аль-Дохи: разработка концепции, административное руководство исследовательским проектом, написание черновика рукописи.

Х. Д. Аль-Харави: проведение исследования, разработка методологии, курирование данных.

С. А. Халаф: формальный анализ, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

REFERENCES

1. Gharis L.W., Hightower M.F. A practical method for collecting social media campaign metrics. *The Journal of Extension.* 2017;55(2):18. https://doi.org/10.34068/joe.55.02.18
2. Despotović J., Rodić V., Caracciolo F. Farmers' environmental awareness: Construct development, measurement, and use. *Journal of Cleaner Production*. 2021;295:126378. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126378
3. Al-Ajeeli R.R.K. *Extension Knowledge Needs of Agricultural Employees in the Field of Agriculture in Nineveh Governorate.* Master's Thesis, College of Agriculture, Tikrit University; 2020. (In Arabic).
4. Maulu S., Hasimuna O.J., Mutaleet B. et al. Enhancing the role of rural agricultural extension programs in poverty alleviation: A review. *Cogent Food & Agriculture*. 2021;7(1):1886663. https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1886663
5. Eduafo I., Osei C.K., Bakang J.E.A. et al. Could social media be a game-changer in improving agricultural extension delivery in Ghana? *Heliyon*. 2024;10(12):e33293. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33293
6. Al-Ghaimi M.Sh.A. *Obstacles to Agricultural Technology Transfer in Beheira Governorate.* Master's Thesis, Faculty of Agriculture, Menoufia University; 2014. (In Arabic).
7. Ruzzante S., Labarta R., Bilton A. Adoption of agricultural technology in the developing world: A meta-analysis of the empirical literature. *World Development.* 2021;146:105599. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105599
8. Coggins S., McCampbell M., Sharma A. et al. How have smallholder farmers used digital extension tools? Developer and user voices from Sub-Saharan Africa, South Asia and Southeast Asia. *Global Food Security*. 2022;32:100577. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100577
9. Sharma K., Dhaliwal S.N., Singh G. et al. Assessment of socio-digital approaches for agricultural Extension in Shri Muktsar sahib district of Punjab. *Indian Journal of Extension Education*. 2020;56(3):60-63.
10. Sandeep G.P., Prashanth P., Sreenivasulu M. et al. Social media in agriculture — A profile analysis. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* 2020;9(7):2727-2736. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.907.322
11. Ramavhale P.M., Zwane E.M., Belete A. The benefits of social media platforms used in agriculture for information dissemination. *South African Journal of Agricultural Extension.* 2024;52(2):77-90. https://doi.org/10.17159/2413-3221/2024/v52n2a15342

12. Al-Rahbani A.Sh. *Electronic Colonialism and the Media*. 1st ed., Osama Publishing and Distribution House, Amman, Jordan. 2015.336. (In Arabic).
13. Patel N., Dixit A.K., Singh S.R.K. Effectiveness of WhatsApp messages regarding improved agricultural production technology. *Indian Journal of Extension Education.* 2020;56(1):54-58. https://doi.org/10.48165/IJEE.2020.56112
14. Wahid M.A.A. *Electronic Agricultural Extension Between Reality and Application*. Arab Bureau of Knowledge Publishing, 1st ed, Cairo, Egypt; 2015.
15. Abu Zaid F. *Media of Authority and the Authority of Media*. Alam Al-Kutub for Printing, Publishing, and Distribution. ISBN: 9789772325801.Cairo; 2007.
16. Panda P., Tiwari R., Handage S. et al. Information source utilization by livestock and poultry farmers of Uttar Pradesh. *Indian Journal of Extension Education.* 2021;58(1):172-175. https://doi.org/10.48165/IJEE.2022.58133
17. Oyal A. *ICT in Agriculture Sourcebook: Connecting Smallholders to Knowledge, Networks, and Institutions.* WorldBank, Washington D.C. 2011.428. https://doi.org/10.1596/12613
18. Gharis L.W., Hightower M.F. A practical method for collecting social media campaign metrics. *The Journal of Extension.* 2017;55(2):18. https://doi.org/10.34068/joe.55.02.18
19. Mainack M., Correa D., Benevenuto F. Anonymity effects: A large-scale dataset from an anonymous social media platform. *Proceedings of the 31st ACM Conference on Hypertext and Social Media*. 2020.69-74. https://doi.org/10.1145/3372923.3404792
20. Nnaji J.N., Kezi D.M. Using social media to attract young farmers in nigeria's federal capital territory. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*. 2021;9(8):408-412. https://doi.org/10.26765/DRJAFS5689082135429
21. Field A. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics.* Sage publications limited. 20241144.
22. Sanders A.F. 20 stage analysis of reaction processes. *Advances in Psychology.* 1980;1:331-354. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61955-X
23. Al-Baldawi A.H.A.M. *Scientific Research Methods, Statistical Analysis, Research Planning, and Manual Data Collection and Analysis Using SPSS*. 1st ed., Dar Al-Shorouk for Publishing and Distribution, ISBN: 51950285555, Amman, Jordan; 2004.
24. Hair J.F., Black W.C., Babin B.J. et al. *Multivariate Data Analysis*. Cengage 9th ed. United Kingdom; 2022.834
25. Qeshta (Qashta) A.H.A. *Agricultural Extension: A New Vision.* Dar Al-Nada for Printing, 1ed. ISBN: 9789957243922. Cairo, Egypt; 2013.

About the authors

Ahmed Hamad Al-Dokhi —
PhD Student, MSc. in Agricultural Extension, Lecturer at Department of Science, Faculty of Basic Education – Al-Shirqat, Tikrit University, Salah Aldin, Iraq

https://orcid.org/0009-0008-7689-1539

amohamed@tu.edu.iq

Khalaf Jassim Al-Harawi —
MSc. in Agricultural Extension, Lecturer at Department of Agricultural Economics and Extension, College of Agriculture, Tikrit University, Salah Aldin, Iraq

https://orcid.org/0009-0001-8815-9993

Khalaf.Jassim@tu.edu.iq

Сведения об авторах

Аль-Дохи Ахмед Хамад —
соискатель PhD, магистр в области аграрного консультирования, лектор, кафедра естественных наук, факультет базового образования – Эш-Ширкат, Университет Тикрит, Салах-эд-Дин, Ирак

https://orcid.org/0009-0008-7689-1539

amohamed@tu.edu.iq

Аль-Харави Халаф Джассим —
магистр в области аграрного консультирования, лектор, кафедра экономики сельского хозяйства и аграрного консультирования, Сельскохозяйственный колледж, Университет Тикрит, Салах-эд-Дин, Ирак

https://orcid.org/0009-0001-8815-9993

saad.khalaf21@tu.edu.iq

Saad Ahmed Khalaf —
MSc. in Agricultural Extension, Lecturer at Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Science – Al-Shirqat, Tikrit University, Salah Aldin, Iraq
https://orcid.org/0009-0005-4092-3242
saad.khalaf21@tu.edu.iq

Халаф Саад Ахмед —
магистр в области аграрного консультирования, лектор, кафедра пищевых наук и технологий, факультет пищевых наук – Эш-Ширкат, Университет Тикрит, Салах-эд-Дин, Ирак
https://orcid.org/0009-0005-4092-3242
saad.khalaf21@tu.edu.iq

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-116

Значение контрактного опыления в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивости агроэкосистем юга России

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Григорий Васильевич Комлацкий
E-mail: gregwk@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Комлацкий Г.В., Терещенко Г.А., Комлацкая М.Г. Значение контрактного опыления в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивости агроэкосистем юга России. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):24-40. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-116
EDN TZZNFK

ПОСТУПИЛА: 24.04.2026
ДОРАБОТАНА: 26.07.2026
ПРИНЯТА: 27.07.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 10.08.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:
Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-28-01726

COPYRIGHT: © 2026 Комлацкий Г.В., Терещенко Г.А., Комлацкая М.Г.

Г.В. Комлацкий, Г.А. Терещенко, М.Г. Комлацкая

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Опылительная деятельность пчел является важным фактором в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивости агроэкосистем. В последние тридцать лет в России фиксируется отрицательная динамика численности пчелосемей и их дефицит для опыления. Актуальной является необходимость разработки организационно-экономического механизма проведения эффективного пчелоопыления.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ. Научное обоснование и разработка организационно-технологических решений по развитию контрактного пчелоопыления энтомофильных сельскохозяйственных культур в зоне индустриального агроценоза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. С помощью монографического и статистического методов проанализирован массив публикаций, а также динамика посевных площадей и численности пчелиных семей. Посредством сравнительно-географического метода обобщены региональные особенности размещения пасек и практика контрактного опыления в субъектах Южного федерального округа и Северо-Кавказского федерального округа. Экономико-статистический метод использован для оценки экономической эффективности контрактного опыления. Системный анализ применен для выявления факторов, влияющих на полноту опыления, и определения путей повышения эффективности контрактного опыления.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Дано комплексное обоснование перехода от сложившейся практики спонтанного опыления к институционализированной модели контрактного сервиса. Выявлены системные барьеры развития контрактного опыления и предложены механизмы их устранения. Разработаны принципы интеграции мобильных павильонных комплексов и цифровых платформ в систему управления опылительным процессом; определены параметры масштабирования контрактной модели на макрорегиональном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Предложенная модель контрактного опыления апробирована в шести регионах юга России. Разработанные подходы позволяют восполнить дефицит опылителей, обеспечить дополнительный сбор продукции и повысить устойчивость агроэкосистем макрорегиона. В рамках развития контрактного опыления необходимо создать региональные цифровые платформы, наладить производство мобильных пчелокомплексов для сокращения трудозатрат и включить пчелоопыление в систему государственной поддержки АПК.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: продовольственная безопасность, пчеловодство, контрактное опыление, медоносные пчелы, энтомофильные культуры, подсолнечник, мобильные пчелокомплексы, цифровые технологии

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-116

The importance of contract pollination in ensuring food security and sustainability of agroecosystems in southern Russia

CORRESPONDENCE:
Grigory V. Komlatsky
E-mail: gregwk@mail.ru

FOR CITATION:
Komlatsky G.V., Tereshchenko G.A., Komlatskaya M.G. The importance of contract pollination in ensuring food security and sustainability of agroecosystems in southern Russia. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):24-40. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-116

RECEIVED: 24.04.2026
REVISED: 26.07.2026
ACCEPTED: 27.07.2026
PUBLISHED ONLINE: 10.08.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

FUNDING
The research was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 25-28-01726.

COPYRIGHT: © 2026 Komlatsky G.V., Tereshchenko G.A., Komlatskaya M.G.

G.V. Komlatsky ✉, G.A. Tereshchenko, M.G. Komlatskaya

I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Pollination activity by honey bees is a critical factor in ensuring food security and the resilience of agroecosystems. Over the past thirty years, Russia has experienced a negative trend in honey–bee colony numbers, resulting in a pollination deficit. There is therefore an urgent need to develop an organizational and economic framework for the effective management of bee pollination services.

AIM. To provide a scientific justification and to develop organizational and technological solutions for the expansion of contract–based bee pollination of entomophilous crops in areas of intensive agricultural production.

MATERIALS AND METHODS. Using monographic and statistical methods, we analyzed scientific sources and temporal trends in crop areas and honey–bee colony numbers. A comparative geographical approach was employed to synthesize regional patterns in apiary placement and contract pollination practices across the constituent territories of the Southern and North Caucasian Federal Districts. Economic and statistical techniques were applied to assess the cost–effectiveness of contract pollination. A system analysis was carried out to identify the factors affecting pollination efficiency and to determine avenues for improving the performance of contracted pollination services.

RESULTS. The study offers a comprehensive rationale for the transition from the current practice of spontaneous, non–contractual pollination towards an institutionalized service–based model. Systemic barriers to the development of contract pollination are identified, and mechanisms for overcoming them are proposed. In addition, principles are elaborated for the integration of mobile pavilion–type bee colonies and digital platforms into the pollination management system, and the scaling parameters for the contract model at the macro–regional level are defined.

CONCLUSION. The proposed contract pollination model was validated in six regions of southern Russia. The approaches developed allow the pollination deficit to be alleviated, contribute to additional crop yields, and enhance the sustainability of agroecosystems across the macro region. To further advance contract pollination, it is recommended to establish regional digital platforms, scale up the production of mobile bee units to reduce labor inputs, and incorporate bee pollination services into the state support system for the agricultural sector.

KEYWORDS: food security, beekeeping, contract pollination, honey bees, entomophilous crops, sunflower, mobile bee complexes, digital technologies

ВВЕДЕНИЕ

В структуре мирового агропромышленного комплекса опылительная деятельность пчел является критически важным фактором, определяющим продовольственную безопасность и устойчивость агроэкосистем [1–5]. Пчеловодство является системообразующей отраслью сельскохозяйственного производства, поскольку у 90 % энтомофильных сельскохозяйственных культур опыление происходит с помощью медоносных пчел. От его развития во многом зависит повышение уровня развития практически всех отраслей сельского хозяйства [6]. Экономическая ценность опылительных услуг пчел в глобальном измерении ежегодно оценивается в сотни миллиардов долларов, причем в структуре этой стоимости доля собственно продуктов пчеловодства (мед, воск, прополис) составляет не более 10–15 %, тогда как основная часть приходится на доход от опылительной деятельности пчел. Ни один другой агротехнический прием не имеет такой высокой отдачи от его применения и низкой себестоимости. Значение пчелоопыления не ограничивается количественным увеличением урожая. Опыление способствует также улучшению качества продукции: увеличиваются масса и выполненность семян, улучшаются вкусовые качества плодов, повышается их товарная ценность и лежкость плодов [7; 8].

За последние десятилетия власти многих стран, столкнувшись с низким ростом сельскохозяйственного производства и проанализировав причины замедления темпов роста, пришли к выводу о существенной роли пчелоопыления в обеспечении высокой продуктивности наряду с другими жизненно важными факторами (вода, минеральные удобрения, контроль вредителей и болезней и т. д.) [9; 10].

В зоне индустриального агроценоза, каким является юг России, опылительная функция пчел является незаменимым агротехнологическим приемом [11; 12]. Одной из главных энтомофильных культур в этой зоне, нуждающейся в пчелоопылении, является подсолнечник, который одновременно представляет собой и основу медоносного конвейера [13]. Без опыления пчелами процент развитых семян подсолнечника варьируется от 76 до 78 %, в то время как при опылении – от 87 до 93 %. На эффективность опыления оказывают негативное влияние резкие колебания относительной влажности воздуха, засуха, высокая влажность воздуха в сочетании с высокой температурой [14].

Большое влияние пчелы оказывают также на урожайность плодово-ягодных, таких как груша, яблоня, вишня, слива, и овощных культур. Использование пасеки в яблоневом саду способно обеспечить уровень рентабельности в 124,4 %.

В последние 30 лет роль пчел в опылении существенно возросла в связи с повсеместным исчезновением диких насекомых-опылителей из-за массового использования химических средств защиты растений, сокращения естественных медоносных угодий, распашки залежей и снижения биоразнообразия [15–17]. Вместе с тем наблюдается снижение численности пчел из-за распространения болезней и вредителей пчел, гибели пчелиных семей из-за обработок аграриями посевов пестицидами без оповещения пчеловодов и др.

Следует отметить, что в последние годы часть аграриев стала осознавать необходимость пчелоопыления, вследствие чего характер отношений между ними и пчеловодами изменился. Если раньше пчеловоды спрашивали разрешения на размещение пасеки у цветущих медоносов, то теперь сами аграрии приглашают пчеловодов для опыления. При этом чаще всего отношения между аграриями и пчеловодами строятся на неформальной основе, а многие сельхозпроизводители слабо информированы о выгодах организованного опыления. В этих условиях особую актуальность приобретает внедрение контрактного опыления как цивилизованной формы взаимодействия между сельхозпроизводителями и пчеловодами [18].

Целью настоящего исследования явилось научное обоснование и разработка организационно-технологических решений по развитию контрактного пчелоопыления энтомофильных сельскохозяйственных культур в зоне индустриального агроценоза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступало пчеловодство на юге России, включая Южный федеральный округ (Республика Адыгея, Краснодарский край, Астраханская, Волгоградская, Ростовская области) и Северо-Кавказский федеральный округ (Республики Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкесия, Северная Осетия – Алания, Чеченская Республика, Ставропольский край), в том числе пчелиные семьи (*Apis mellifera* L.), используемые

в качестве управляемых опылителей. Предметом исследований стала система организационно-экономических приемов организации опылительной деятельности энтомофильных сельскохозяйственных растений и плодово-ягодных насаждений.

Исследования были проведены в 2022–2025 гг. с использованием комплекса взаимодополняющих научных методов. Монографический метод использован для изучения и критического анализа научных трудов российских и зарубежных авторов в области биологии опыления, экологии медоносных пчел, контрактного пчеловодства, агроэкологии и устойчивости агроэкосистем.

Статистический метод применен для анализа динамики посевных площадей энтомофильных культур и численности пчелиных семей. В качестве исходных послужили официальные данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат) за 2010–2024 гг., отчетные данные Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, региональные статистические сборники органов управления АПК субъектов Южного федерального округа (ЮФО) и Северо-Кавказского федерального округа (СКФО), данные Всероссийских сельскохозяйственных переписей (2006, 2016, 2021 гг.). Обработка статистических данных проведена с использованием методов описательной статистики, анализа временных рядов и экстраполяции трендов.

Расчетно-конструктивный метод использован для определения нормативной потребности в пчелиных семьях для опыления на основе зональных нормативов размещения пчелиных семей, утвержденных Минсельхозом РФ, технологических карт возделывания энтомофильных культур, биологических особенностей опыляемых культур (нектаропродуктивность, продолжительность цветения, кратность посещения цветков). Потребность в пчелиных семьях (П) для каждой культуры рассчитывалась по формуле $П = S \times H$, где S – площадь посева культуры, га; H – норма размещения пчелиных семей, семей/га.

Сравнительно-географический метод позволил выявить региональные особенности размещения пасек, организации медоносного конвейера и практики контрактного опыления в различных субъектах ЮФО и СКФО. Проведен анализ природно-климатических условий, структуры посевных площадей, плотности размещения пчелиных семей.

Экономико-статистический метод использован для оценки экономической эффективности контрактного опыления. Рассчитаны валовая добавленная стоимость от опыления по культурам, потери урожайности вследствие дефицита опылителей, экономический эффект от внедрения контрактного опыления. Экономический эффект от опыления (Э) рассчитан по формуле $Э = S \times \Delta Y \times Ц$, где S – площадь посева, га; ΔY – прибавка урожайности от опыления, т/га; Ц – средняя цена реализации продукции, руб/т.

Системный анализ применен для выявления факторов, влияющих на полноту опыления, и определения путей повышения эффективности контрактного опыления. Рассмотрена система взаимосвязей между агротехническими, биологическими, организационными и экономическими факторами.

Представленные в статье данные имеют высокую степень достоверности, что подтверждается следующими обстоятельствами:

1. Официальные источники статистических данных. В работе использованы данные Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, региональных органов управления АПК. Эти данные являются официально опубликованными и прошли процедуру верификации. Данные за 2010–2025 гг. являются фактическими, за 2026 г. прогнозными, полученными на основе анализа трендов с коэффициентом детерминации $R^2 \geq 0{,}85$, что подтверждает высокую точность прогноза.
2. Методологическая корректность. Исследование выполнено с использованием апробированных научных методов, что обеспечивает воспроизводимость результатов.
3. Репрезентативность примеров. Приведенные примеры охватывают различные типы хозяйств (крупные агропредприятия, КФХ), различные культуры (подсолнечник, рапс, бахчевые, сады) и регионы.

Таким образом, выбранные методы являются наиболее уместными для решения поставленных задач в масштабе макрорегионального исследования. Экстраполяция трендов и расчеты экономической эффективности дают конкретные рекомендации для аграрного сектора, что соответствует прикладному характеру работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современное состояние ресурсной базы опыления на юге России

Юг России, объединяющий территории ЮФО и СКФО, является зоной индустриального агроценоза и ключевым аграрным макрорегионом страны. Природно-климатические условия характеризуются продолжительным вегетационным периодом, обилием солнечных дней и разнообразием медоносной растительности, что создает благоприятные предпосылки для развития пчеловодства и организации непрерывного медоносного конвейера. Здесь сосредоточены значительные площади нуждающихся в опылении энтомофильных сельскохозяйственных культур: подсолнечника, рапса, эспарцета, садов интенсивного типа, овощных и бахчевых культур (таблица 1).

Анализ динамики посевных площадей основных энтомофильных культур за период 2010–2026 гг. выявил тенденции, обусловленные рыночной конъюнктурой, изменением структуры посевных площадей и климатическими факторами.

За период 2010–2026 гг. площади под подсолнечником в ЮФО увеличились на 43,2 % (с 1850 до 2650 тыс. га), в СКФО – на 56,0 % (с 420 до 655 тыс. га). Рапс демонстрирует наиболее динамичный рост: в ЮФО площади увеличились в 4,1, в СКФО – в 5,3 раза. Площади садов в ЮФО выросли на 87,4 %, что обусловлено развитием садоводства интенсивного типа. Суммарная площадь энтомофильных культур, нуждающихся в опылении, в 2026 г. составляет в ЮФО около 3632 тыс. га, в СКФО – около 1104 тыс. га.

Вместе с тем в последние десятилетия в регионах юга России, как и в целом по стране, наблюдается устойчивая тенденция к сокращению численности пчелиных семей. По данным Министерства сельского хозяйства РФ, для обеспечения полноценного опыления всех энтомофильных культур в стране требуется свыше 7 млн пчелосемей, тогда как фактическая их численность не превышает 3,5 млн. В ЮФО и СКФО дефицит пчелиных семей достигает 60–67 %, что создает серьезные риски для стабильного производства продукции растениеводства.

Таблица 1
Площади энтомофильных культур в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах (тыс. га)

Table 1
Areas of entomophilous crops in the Southern and North Caucasus Federal Districts (thousand hectares)

Культура	Округ	Год					
		2010	2015	2020	2022	2024	2026
Подсолнечник	ЮФО	1850	2100	2300	2405	2545	2650
	СКФО	420	480	520	565	610	655
Гречиха	ЮФО	85	90	85	77	81	85
	СКФО	25	28	26	24	26	28
Рапс	ЮФО	120	180	280	355	425	495
	СКФО	35	55	85	115	150	185
Эспарцет	ЮФО	45	42	38	34	32	30
	СКФО	28	26	24	22	20	19
Сады	ЮФО	95	105	120	138	158	178
	СКФО	65	70	78	88	100	112
Овощные культуры	ЮФО	155	160	168	178	186	194
	СКФО	85	88	92	97	101	105

Источник: Сельское хозяйство в России. Стат. сб. / Федеральная служба государственной статистики. М., 2025. 43 с.
Source: Agriculture in Russia. Statistical Collection / Federal State Statistics Service. Moscow, 2025. 43 p.

Примечание: данные за 2026 г. – прогнозные оценки на основе анализа трендов 2010–2024 гг.
Note: data for 2026 are forecast estimates based on trend analysis for 2010–2024.

На основе анализа научной литературы и нормативно-технической документации систематизированы научно обоснованные нормы использования сильных пчелиных семей для опыления энтомофильных культур (таблица 2).

Следует отметить, что в научной литературе существуют различные подходы к определению оптимальной плотности размещения пчелиных семей на посевах подсолнечника. Традиционно рекомендуемые нормы варьируют от 0,5 до 1,5 семьи на гектар. Однако результаты многолетних полевых экспериментов, проведенных в Краснодарском крае и Ставрополье, показывают необходимость пересмотра этих нормативов в сторону увеличения.

Во-первых, это связано с селекционными изменениями современных гибридов подсолнечника. Исследования А. Д. Бочкового и др. убедительно демонстрируют, что кондитерские сорта подсолнечника характеризуются высокой нектаропродуктивностью – до 8,4±0,35 мг нектара на один цветок. Для сравнения, у масличных гибридов этот показатель составляет 3,8±0,39 мг [19]. Повышенное нектаровыделение привлекает большее количество пчел, но одновременно требует более интенсивного посещения каждого цветка для обеспечения полноценного опыления. При норме 1 семья/га плотность пчел на поле оказывается недостаточной для своевременного опыления всех цветков в сжатые сроки цветения.

Во-вторых, продолжительность цветения одной корзинки подсолнечника составляет 7–12 дней, причем цветки раскрываются последовательно от периферии к центру. Для формирования выполненной семянки необходимо 2–3 посещения цветка пчелой в течение периода его рецептивности. Полевые учеты, проведенные в хозяйствах Краснодарского края в 2022–2024 гг., показали, что при плотности пчелиных семей 1,0–1,2 семьи/га фактическая кратность посещения цветков не превышает 1,2–1,5 раза, тогда как при плотности 1,8–2,2 семьи/га кратность возрастает до 2,5–3,0 раз, что соответствует биологической потребности культуры.

В-третьих, на основании результатов производственных опытов в 2023–2024 гг. с плотностью размещения пчелиных семей от 0,5 до 3,0 семей/га в шести хозяйствах Краснодарского края установлено, что увеличение плотности с 1,0 до 2,0 семей/га обеспечивает дополнительную прибавку урожайности в среднем на 11,3 % (от 8,7 до 14,2 % в зависимости от погодных условий года). При дальнейшем повышении плотности до 2,5–3,0 семей/га прибавка урожайности не превышала 2–3 %, что экономически нецелесообразно. Таким образом, норма 2 семьи/га является биологически и экономически оптимальной.

В-четвертых, при плотности размещения 2 семьи/га количество хорошо развитых семян в корзинке достигает 931–953 из 1000, тогда как при самоопылении этот показатель снижается до 574–578 из 1000, а при опылении с плотностью 1 семья/га составляет 780–820 из 1000.

Таблица 2
Нормы использования пчелиных семей на опыление 1 га энтомофильных культур

Table 2
Standards for using bee colonies for pollination of 1 hectare of entomophilous crops

Культура	Норма пчелосемей на 1 га, семей	Прибавка урожая, %
Подсолнечник	1,5–2,5 (оптимально 2,0)	40–55
Гречиха	2,0–2,5	40–60
Рапс	1,0–2,0	25–55
Эспарцет	3,0–4,0	40–130
Люцерна (семеноводство)	8,0–12,0	50–65
Яблоня, груша	2,0–3,0	25–50
Вишня, слива	2,5–3,0	40–60
Бахчевые	0,3–0,5	30–160

Источник: Нормы использования сильных пчелиных семей на опылении сельскохозяйственных культур : методические рекомендации / МСХ России. М., 2020. 45 с.

Source: Standards for the Use of Strong Bee Colonies in Pollination of Agricultural Crops : Methodological Recommendations / Ministry of Agriculture of Russia. Moscow, 2020. 45 p.

Масса 1000 семян при оптимальном опылении увеличивается на 12–18 % по сравнению с недостаточно опыленными посевами.

В-пятых, при средней стоимости аренды пчелосемьи 1000 руб. за период опыления затраты на опыление 1 га подсолнечника составляют 2000 руб. При средней урожайности 25 ц/га и прибавке 40 % (10 ц/га) дополнительная выручка при цене 25 000 руб/т составляет 25 000 руб. на гектар. Окупаемость затрат на опыление достигает 12,5-кратного уровня, что делает норму 2 семьи/га экономически высокоэффективной.

Таким образом, норма 2 пчелиные семьи на гектар для подсолнечника является научно обоснованной, подтвержденной многолетними полевыми экспериментами и рекомендуется для использования в практике контрактного опыления в условиях юга России.

Следует особо подчеркнуть, что обеспеченность опылителями в Российской Федерации остается неудовлетворительной (таблица 3).

Таблица 3
Количество пчелиных семей в РФ, ЮФО и СКФО (тыс. семей)

Table 3
Number of bee colonies in the Russian Federation, the Southern Federal District, and the North Caucasian Federal District (thousands of colonies)

Регион	2010	2015	2020	2024	2026*	Потребность (2026)	Дефицит, %
Российская Федерация	3520	3410	3380	3410	3425	7000	51,1
Южный федеральный округ (ЮФО) – всего	520	505	495	503	507	1280	60,4
В том числе: Республика Адыгея	18	17	16	17	17	45	62,2
Астраханская область	22	21	20	21	21	60	65,0
Волгоградская область	40	38	37	38	39	105	62,9
Краснодарский край	285	278	272	277	279	665	58,0
Ростовская область	125	121	118	121	123	365	66,3
Республика Крым*	30	30	32	29	28	40	30,0**
Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО) – всего	175	170	165	168	170	495	65,7
В том числе: Республика Дагестан	45	43	42	43	43	135	68,1
Республика Ингушетия	6	6	5	6	6	15	60,0
Кабардино-Балкарская Республика	28	27	26	27	27	70	61,4
Карачаево-Черкесская Республика	12	11	11	11	11	30	63,3
Республика Северная Осетия – Алания	14	14	13	14	14	35	60,0
Чеченская Республика	8	8	8	8	8	20	60,0
Ставропольский край	110	107	104	107	109	290	62,4

Источник: расчеты авторов на основе данных Росстата, региональных органов управления АПК и методических рекомендаций Минсельхоза РФ.

Source: authors' calculations based on data from Rosstat, regional agricultural management bodies, and methodological recommendations of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

Примечания:
* – данные за 2026 г. являются прогнозными оценками на основе анализа трендов 2010–2024 гг.
** – по Республике Крым дефицит рассчитан с учетом особенностей региона (данные за 2024–2026 гг. скорректированы с учетом современных тенденций).

Notes:
* – data for 2026 are forecast estimates based on trend analysis for 2010–2024.
** – for the Republic of Crimea, the deficit was calculated taking into account the region's specific features (data for 2024–2026 was adjusted with due regard for current trends).

Экономическая эффективность и апробация контрактной модели

Сокращение популяций «диких» опылителей повышает уязвимость продовольственной системы [20]. Негативная динамика их численности во многом обусловлена изменениями в землепользовании и повсеместным применением пестицидов [21]. Актуальным является изучение рынка услуг пчелоопыления, компенсирующего дефицит диких опылителей. Для оценки влияния насекомых и пчел на опылительный процесс и моделирования устойчивости управляемых услуг по опылению в агроэкосистемах Г. Лонсдорфом с соавторами была разработана экологическая модель.

Опыление как экосистемная услуга незаменима с экономической, социальной и экологической точек зрения [22].

Одним из наиболее эффективных вариантов является система контрактного опыления, представляющая собой организационно-экономическую модель взаимодействия между сельскохозяйственными товаропроизводителями и пчеловодами, при которой опыление энтомофильных культур осуществляется на основе возмездных договоров. В мировой практике эта цивилизованная форма аграрного сервиса, позволяющая гарантированно обеспечивать потребности растениеводства в опылителях, а пчеловодам – получать стабильный доход независимо от медосбора, получила широкое распространение.

Интегральный экономический эффект от опыления

Экономическая оценка услуг по опылению, включая упущенную выгоду из-за недоопыления, лежит в основе стратегии количественной оценки влияния экосистемной услуги на производство продуктов питания и продовольственную безопасность. Оценочная глобальная стоимость опыления сельскохозяйственных культур в мире варьируется от 267 до 657 млрд долл. США [23]. В Великобритании услуги по опылению увеличивают доходы аграриев на £ 630 млн в год.

Контрактная система оказания услуг по опылению во многих странах мира стала ключевым механизмом, координирующим поведение участников рынка. Эта модель широко используется в США. В Калифорнии около 89 % всех пчелиных колоний задействованы на опылении миндаля. При заключении договора особое внимание уделяется вопросам pesticide risk management – включению в контракты пунктов, ограничивающих применение фунгицидов и других пестицидов. При стандартной плате $ 200 за улей пчеловоды делают скидку в 4 % при включении в контракт пункта по защите от воздействия пестицидов [24]. Рост зимней смертности пчелиных колоний в середине 2000-х годов привел к увеличению сборов за опылительные услуги.

Экономический эффект от опыления в масштабах ЮФО и СКФО оценивается в десятки миллиардов рублей ежегодно. По расчетам авторов, основанным на данных о площадях и прибавке урожайности, суммарный потенциальный эффект от опыления подсолнечника в ЮФО и СКФО при условии 100 % охвата составляет около 35 млрд руб. в год. Недобор урожая вследствие дефицита опылителей составляет по подсолнечнику 15–20 % потенциального урожая, что эквивалентно потере 1,2–1,5 млн тонн семян в год.

Объективными предпосылками для осуществления контрактного опыления является также тот факт, что для культур с низкой медопродуктивностью (например, ягодники и косточковые культуры, дающие очень мало товарного меда) вывоз пасеки с целью получения меда является малопривлекательным. В случае же заключения контракта пчеловод гарантированно получает определенную прибыль за счет оплаты опылительной услуги. Если же культура высокомедоносная, пчеловод получает прибыль и от опыления, и от последующей реализации медовой продукции. Таким образом, в этой ситуации вывоз пчел на опыление является взаимовыгодным как для пчеловода, так и для растениевода.

Экономический анализ логистических аспектов рынка опылительных услуг в США свидетельствует о том, что участие пчеловодов в кооперативных транспортных соглашениях снижает их доход примерно на $ 27 за колонию по сравнению с самостоятельной перевозкой пасеки [25]. Для оптимизации опылительной деятельности разработана биоэкономическая модель, моделирующая экономические и экологические последствия введения субсидий для пчеловодства и налога на пестициды [26].

На прибыльность пчеловодства влияет комплекс факторов. В частности, существенно повышает прибыль на одну колонию и делает бизнес устойчивее к колебаниям внешних факторов (цен,

погоды, влияющих на продуктивность и смертность) диверсификация источников дохода (например, совмещение производства меда с коммерческим опылением культур) [27]. Важным показателем является здоровье пчел [28]. Также во многом эффективность опыления зависит от размеров пчелиных колоний.

Пчеловоды в контрактах выступают как поставщики услуг; на их работу влияют погодные условия, здоровье колоний, доступность пчел, требования заказчика и рыночные цены. Среди основных рисков можно выделить зависимость от заказчика (срыв сроков, изменение условий), риски для здоровья колоний (распространение болезней, воздействие пестицидов), финансовые риски (нестабильность доходов по контракту). Стратегии управления: диверсификация источников дохода, тщательное планирование графика перемещений ульев, внедрение систем мониторинга состояния пчел и др. Успешное управление такими рисками требует междисциплинарного подхода – сочетания знаний в области биологии пчел, экономики и управления проектами.

Оптимизировать условия возможно путем построения математической модели, учитывающей несколько переменных: количество ульев, необходимое для эффективного опыления конкретной культуры; риски для здоровья пчелиных семей (воздействие пестицидов, нехватка нектара и пыльцы); экономические параметры (оплата, компенсации, условия предоплаты); особенности ландшафта вокруг полей (наличие дополнительных медоносов) и т. д. Инструменты, предложенные на основе модели, позволят сбалансировать интересы сторон: обеспечить фермеру достаточный уровень опыления, а пчеловоду – минимизировать риски и сохранить здоровье семей. Также одним из путей повышения рентабельности для пчеловодов и производителей сельхозкультур является оптимизация опыления на принципах «точного опыления» (precision pollination) [29].

Результаты пилотных проектов контрактного опыления в регионах юга России

Существующие формы статистического наблюдения Росстата не предусматривают сбор информации, позволяющей достоверно судить о количественных и качественных показателях, характеризующих правоотношения по поводу контрактного опыления в Российской Федерации. По данным Союза промышленных пчеловодов России, в последние годы наблюдается устойчивая тенденция роста числа контрактов, заключаемых между растениеводами и пчеловодами, предметом которых является возмездное оказание услуг по опылению сельскохозяйственных культур. По данным опроса среди членов пчеловодов-промышленников за 2022 г., на опылении суммарно было задействовано около 5000 пчелиных семей, принадлежащих членам организации, в 2023 г. данный показатель составил около 11 000 семей.

В ходе данного исследования были проанализированы пилотные проекты, реализуемые хозяйствующими субъектами разной организационно-правовой формы: два общества с ограниченной ответственностью, одно крестьянское (фермерское) хозяйство, один сельскохозяйственный производственный кооператив. Договоры были заключены на опыление в 2024 г. подсолнечника, бахчевых культур, рапса и плодовых насаждений. Пчелиные семьи были доставлены за три дня до начала массового цветения, стоимость услуги опыления варьировала от 800 до 2000 руб. за одну пчелосемью; плотность размещения – от 0,4 до 3 семей/га. Пчеловоды получали предварительное уведомление о графике пестицидных обработок за 5 дней. Выявленные примеры использования аграриями контрактного опыления наглядно свидетельствуют о его эффективности и взаимной выгоде для аграриев и пчеловодов (таблица 4).

Прибавка урожая в пилотных хозяйствах составила от 19 до 50 % по сравнению со средними показателями по району. Наивысший показатель зафиксирован на бахчевых культурах – 50 %. Урожайность подсолнечника составила 28,5 ц/га при средней по району 22,3 ц/га, прибавка – 6,2 ц/га (27,8 %). Выход товарных плодов высшего сорта в КФХ «Садовод» увеличился с 68 до 92 %. В ООО «Башмаковское» в результате опыления завязываемость плодов увеличилась с 52 (в 2023 г. – без опыления) до 87 %, урожайность арбузов возросла с 28 до 42 т/га. Урожайность рапса в СПК «Нива» составила 2,6 т/га при средней по республике 1,9 т/га (прибавка 36,8 %). В ООО «Крымская фруктовая компания» выход плодов товарного сорта увеличился с 72 до 91 %, снизились потери при хранении на 18 %.

В Ростовской области в 2025 г. при поддержке регионального минсельхоза была запущена пилотная платформа «Дон-Опыление», объединившая 28 агропредприятий и 46 пчеловодов.

Таблица 4
Эффективность контрактного пчелоопыления в пилотных проектах по пчелоопылению юга России

Table 4
Efficiency of contract bee pollination in pilot bee pollination projects in the South of Russia

Показатель	Аграрное предприятие				
	ООО «Агро-Юг», Краснодарский край	КФХ «Садовод» Ставропольский край	ООО «Башмаковское», Волгоградская область	СПК «Нива», Республика Дагестан	ООО «Крымская фруктовая компания»
Опыляемая площадь, га	1200	150	850	940	320
Опыляемая культура	Подсолнечник	Яблоневый сад	Бахчевые культуры	Рапс на маслосемена	Плодовые (яблоня, груша, слива)
Плотность размещения, семьи/га	2	3	0,4	1,5	3
Стоимость услуги опыления, руб/семью	1200	1800	800	1100	2000
Прибавка урожая, ц/га, /%	6,2 /27,8	16/24	140/50	7/36,8	12,5/19,0
Выручка от дополнительной продукции, млн руб	18,6	10,8	59,5	26,3	19,0
Затраты на опыление (оплата пчеловодам), млн руб	2,88	0,810	0,272	1,55	1,92
Чистая прибыль, млн руб	15,72	9,91	59,228	24,74	17,08

За сезон было заключено 32 формальных договора на опыление 18 тыс. га энтомофильных культур (подсолнечник – 12,5 тыс. га, рапс – 3,2 тыс. га, гречиха – 2,3 тыс. га). Внедрены GPS-контроль размещения пасек и система электронного оповещения о химических обработках (уведомления за 5–7 дней через мессенджеры и SMS). Потери пчел от отравлений сократились на 65 % по сравнению с предыдущим годом. Средняя прибавка урожайности по культурам составила 31 %. Общая дополнительная выручка участников платформы – 89 млн руб., суммарные затраты на опыление – 12,4 млн руб., экономический эффект – 76,6 млн руб.

Представленные примеры подтверждают высокую экономическую эффективность контрактной модели и свидетельствуют о целесообразности ее масштабирования.

Факторы, сдерживающие масштабирование контрактного опыления

В ходе исследования выявлены и систематизированы основные группы факторов, влияющих на полноту опыления энтомофильных культур и сдерживающие масштабирование контрактного опыления.

Биотические, абиотические и антропогенные ограничения

Изменение климата существенно меняет динамику взаимодействий между растениями и опылителями, репродуктивную биологию и предоставление экосистемных услуг. Экстремальные погодные явления (волны жары, засухи, сильные осадки) напрямую снижают жизнеспособность пчел, нарушают их поведение и снижают эффективность опыления [30]. Из-за климатических сдвигов меняются географический ареал и фенология (сроки активности) насекомых-опылителей [31; 32].

Биотические факторы включают генотип культуры (различные сорта и гибриды обладают неодинаковой нектаропродуктивностью и привлекательностью для пчел), состояние пчелиных семей (сила семьи, наличие расплода, возраст рабочих пчел) и здоровье пчел (варроатоз, вирусные и грибковые заболевания снижают активность и продолжительность жизни пчел).

Абиотические факторы включают погодные условия (температура воздуха, влажность, солнечная радиация). Летная активность пчел начинается при температуре +12 °C, оптимальной считается температура 16–26 °C. За последние годы число летных дней в апреле сократилось на 13 % по срав-

нению с периодом 1995–2000 гг., а оптимальных для лета дней – в два раза.

Антропогенные факторы включают применение пестицидов (неоникотиноиды и другие инсектициды вызывают гибель пчел, нарушают способность к обучению и ориентации), электромагнитное излучение (сотовая связь, спутниковые системы навигации создают помехи навигационной системе пчел) и организацию опылительных работ (своевременность доставки пчел, равномерность размещения ульев, наличие дрессировки).

Институциональные и инфраструктурные барьеры

Институт контрактного опыления в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах, как и в Российской Федерации в целом, в настоящее время развит слабо. Лишь 15–20 % крупных сельхозпредприятий в регионах исследования заключают формальные письменные договоры с пчеловодами. В большинстве случаев взаимодействие строится на устных договоренностях, что создает высокие риски для обеих сторон. В ряде хозяйств Краснодарского края и Ставрополья практикуются бартерные схемы; такая модель не обеспечивает прозрачности и не стимулирует увеличения объемов опылительных услуг.

Развитие контрактного опыления сдерживает нормативно-правовая неопределенность. Отсутствуют специализированные законодательные акты, регламентирующие статус опылительных услуг, порядок взаиморасчетов, ответственность сторон за гибель пчел, требования к срокам уведомления о пестицидных обработках. Действующие нормы Гражданского кодекса РФ не учитывают специфику биологических активов (пчелиных семей) и агротехнологических особенностей опыления.

Рынок опылительных услуг не имеет единых правил ценообразования, методик оценки качества опыления, механизмов досудебного урегулирования споров. Отсутствуют стандарты и типовые формы договоров.

К числу инфраструктурных ограничений следует отнести недостаток специализированной техники для транспортировки пчел (мобильных павильонов, грузовых платформ с вентиляцией), что затрудняет доставку пчелосемей к удаленным массивам. Отсутствие региональных диспетчерских центров координации кочевок приводит к неравномерному распределению опылителей. Доставка пчел на медоносный массив сопряжена с большими транспортными затратами, которые для малочисленных пасек становятся неподъемными. С учетом того, что большинство пчел на юге страны содержится в хозяйствах населения, выходом в этой ситуации может стать их объединение на кооперативных началах [33].

Важным фактором в организации опылительной деятельности является механизация погрузочно-разгрузочных работ, которые пока что в большинстве случаев выполняются вручную. В настоящее время в стране наблюдается дефицит специализированной техники для перевозки пчел. Для решения этой проблемы необходима государственная поддержка: субсидирование приобретения мобильных павильонов, развитие системы агролизинга для пчеловодства, включение пчеловодческой техники в перечни сельхозтехники, реализуемой по льготным программам.

Перспективным направлением интенсификации пчеловодства является использование мобильных павильонных комплексов. В Кубанском государственном аграрном университете разработана и запатентована конструкция мобильного медово-опылительного павильона, удостоенная серебряной медали на 111-м Международном салоне изобретений «Конкурс ЛЕПИН» в Париже. Использование мобильных павильонов позволяет быстро перемещать пчелиные семьи к местам цветения энтомофильных культур; обеспечивать оптимальный микроклимат для развития пчел в неблагоприятных условиях; повысить производительность труда пчеловода в 2–3 раза по сравнению с традиционным кочевым пчеловодством; снизить затраты на транспортировку и обслуживание пасеки; обеспечить равномерное размещение опылителей на массивах энтомофильных культур.

Информирование аграриев

Многие сельхозпроизводители недооценивают реальную экономическую выгоду от опыления, рассматривая его как факультативную, а не обязательную технологическую операцию. По данным опроса, около 40 % респондентов не знают научно обоснованных норм размещения пчелосемей и фактических прибавок урожайности.

Для того чтобы своевременно получать информацию о предстоящих обработках посевов, состоянии медоносов и для связи с другими пчело-

водами в полевых условиях необходимо иметь устойчивый интернет. Пока его в ряде мест еще нет. Поэтому цифровизация пчеловодства является важным и необходимым условием трансформации пчеловодства в высокопроизводительную отрасль [33]. Цифровые технологии открывают новые возможности для организации контрактного опыления. К перспективным направлениям относятся:

- платформы для связи производителей и пчеловодов (цифровые сервисы для поиска заказов и предложений);
- мониторинг состояния пчелиных семей с использованием датчиков (весовых, температурных, акустических);
- GPS-трекинг кочевок для оптимизации маршрутов и логистики;
- метеомониторинг и прогнозирование цветения для точного планирования сроков доставки пчел;
- блокчейн-системы контроля применения пестицидов для предотвращения гибели пчел;
- диспетчерские центры координации кочевок на региональном уровне.

Следует отметить, что контрактное опыление относится к сфере гражданских правоотношений. Ценообразование в данной сфере будет формироваться, как и во всех других сферах, исходя из соотношения спроса и предложения. При этом со стороны государства опыление должно рассматриваться как элемент технологии, который обеспечивает рост сельскохозяйственного производства при сохранении экологической чистоты конечного продукта. В свою очередь, такой подход будет способствовать не только обеспечению количественных показателей продовольственной безопасности, но и способствовать сбережению здоровья людей.

Механизм развития и институционализации контрактного опыления

В стране сформирована определенная база, создающая предпосылки для развития контрактного опыления. Впервые в Федеральном законе от 30.12.2020 № 490-ФЗ «О пчеловодстве в Российской Федерации» на законодательном уровне закреплены понятия «опылительные услуги», «мобильный пасечный комплекс», установлены требования к информированию пчеловодов о применении пестицидов (не менее чем за 3 дня до обработки). Однако механизмы реализации многих норм до настоящего времени не разработаны. Параллельно с законом № 480-ФЗ с 10 марта 2026 года вступили в силу и новые санитарные нормы для беспилотных летательных средств, распыляющих пестициды. Методическими рекомендациями Минсельхоза РФ «Нормы использования сильных пчелиных семей на опыление сельскохозяйственных культур» (2020 г.) установлены научно обоснованные нормативы размещения пчелосемей, однако они носят рекомендательный характер. Кроме того, Приказом Минсельхоза РФ от 19.05.2021 № 340 утверждены правила субсидирования части затрат на приобретение пчеловодческой техники, включая мобильные павильоны, однако объемы финансирования остаются недостаточными. Что касается льготного кредитования, то МСХ России не планирует включать услуги по опылению пчелами сельхозкультур в список направлений, которые будут доступны для льготного кредитования по аналогии с мерами поддержки по ремонту сельхозтехники.

Экономисты Минсельхоза представили расчеты, согласно которым экономический эффект от опыления оказался настолько высоким, что господдержка не требуется. По их мнению, сфера опылительного пчеловодства не является низкоприбыльной и не нуждается в приоритетной поддержке. Это решение на симпозиуме «Ветеринарное обеспечение пчеловодства: проблемы, решения с использованием современных инструментов, перспективы» в октябре 2025 года озвучил начальник отдела технологического развития Министерства сельского хозяйства России в сфере животноводства А. В. Кузнецов (Информационный портал «Ветеринария и жизнь»).

По их словам, рентабельность таких хозяйств и без того достаточная, сфера опылительного пчеловодства не является низкоприбыльной, поэтому не нуждается в приоритетной поддержке. Вместе с тем, по информации представителей ведомства, пчеловодам по-прежнему доступны другие формы поддержки, в том числе в форме грантов для начинающих фермеров. Также пчеловоды могут получить субсидии от Минсельхоза на компенсацию до 70 % затрат на оборудование по уходу за пчелами, мероприятия по повышению их количества, а также их питанию. В Тульской и Костромской областях, например, в 2025 году пчеловоды получили субсидии на компенсацию 50 % фактических затрат на приобретение пчелосемей, ульев и оборудова-

ния для откачки и фасовки меда, а также на участие в выставках и ярмарках.

На региональном уровне в Краснодарском крае и Ставрополье разработаны типовые формы договоров на оказание опылительных услуг, но их применение не является обязательным.

На основе проведенного исследования и экспертных оценок определены следующие приоритетные направления механизма контрактного опыления:

1. Совершенствование нормативной базы: разработка и утверждение типового договора контрактного опыления с обязательными условиями (сроки, нормы размещения, ответственность за гибель пчел, порядок оповещения об обработках); введение в законодательство понятия «опылительный сертификат» как документа, подтверждающего качество оказанных услуг; установление административной ответственности за неприменение научно обоснованных норм опыления при возделывании энтомофильных культур в рамках государственных программ.
2. Создание цифровых платформ и информационных систем: региональные электронные площадки для связи аграриев и пчеловодов (аналоги платформы «Агроопыление»); внедрение геоинформационных систем для мониторинга размещения пасек и планирования кочевок; блокчейн-системы фиксации пестицидных обработок для обеспечения прозрачности.
3. Государственная поддержка: субсидирование затрат на транспортировку пчелосемей к опыляемым массивам (не менее 50 % фактических расходов), льготный лизинг мобильных пчелокомплексов и специализированного транспорта, включение опылительных услуг в перечень мероприятий, поддерживаемых в рамках региональных программ развития АПК.
4. Развитие института контрактного опыления: создание региональных центров компетенций по контрактному опылению на базе аграрных вузов; обучение сельхозпроизводителей и пчеловодов методам планирования опылительных работ; внедрение системы страхования рисков гибели пчел при выполнении контрактных обязательств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование пчел для опыления – сложная и взаимосвязанная система, которая поддерживает сельское хозяйство и вносит свой вклад в обеспечение продовольственной безопасности страны. Одним из наиболее эффективных вариантов является система контрактного опыления, представляющая собой организационно-экономическую модель взаимодействия между сельскохозяйственными товаропроизводителями и пчеловодами, при которой опыление энтомофильных культур осуществляется на основе возмездных договоров. В мировой практике эта форма аграрного сервиса получила широкое распространение и гарантированно удовлетворяет потребности аграриев в опылителях, а пчеловодам обеспечивает стабильный доход независимо от медосбора.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. За период 2010–2026 гг. площади энтомофильных культур в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах увеличились на 35–40 %, тогда как численность пчелиных семей сократилась на 2,5–4,2 %. Дефицит опылителей в регионах достиг 60–67 %, что создает серьезные риски для продовольственной безопасности и требует принятия неотложных мер.
2. Для восполнения дефицита опылителей необходимо увеличение численности пчелиных семей в ЮФО в 2,5 раза (с 507 до 1280 тыс. семей), в СКФО — в 2,9 раза (с 170 до 495 тыс. семей). Достижение этих показателей требует системной государственной поддержки отрасли пчеловодства.
3. Экономический эффект от полноценного опыления энтомофильных культур в регионах юга России оценивается в десятки миллиардов рублей ежегодно. Недобор урожая вследствие дефицита опылителей составляет по подсолнечнику 15–20 %, что эквивалентно потере 1,2–1,5 млн тонн семян в год.
4. Для развития контрактного опыления требуется совершенствование нормативно-правовой базы, кооперация пчеловодов, создание информационных платформ для взаимодействия аграриев и пчеловодов, внедрение мобильных пчелокомплексов и цифровых технологий, а также государственная поддержка затрат на транспортировку пчел.

Вклад авторов

Г. В. Комлацкий: разработка концепции, научное руководство.

Г. А. Терещенко: формальный анализ, проведение исследования.

М. Г. Комлацкая: проведение исследования, написание рукописи.

Contributions

G. V. Komlatsky: development of the concept, scientific management.

G. A. Tereshchenko: formal analysis, research.

M. G. Komlatskaya: research, writing the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Таракулов О.Х., Луков М.К. Повышение урожайности раннеспелых сортов подсолнечника при помощи дополнительного опыления. *Актуальные проблемы современной науки.* 2023;6(135):82-90. EDN QNGSVO
   Tarakulov O.Kh., Lukov M.K. Increasing the yield of early-ripening sunflower varieties using additional pollination. *Actual Problems of Modern Science*. 2023;6(135):82-90. (In Russ.) EDN QNGSVO
2. FAO Protecting pollinators from pesticides — Urgent need for action. Rome; 2022. https://doi.org/10.4060/cc0170en
3. Рудак А.И. Значение медоносных пчел в эффективности аграрной экономики. *Наше сельское хозяйство.* 2024;17(337):80-83. EDN AGENXS
   Rudak A.I. The importance of honey bees in the efficiency of the agricultural economy. *Our Agriculture*. 2024;17(337):80-83. (In Russ.) EDN AGENXS
4. Ляшенко М.В., Калмыков С.П., Буднова М.В. Особенности влияния пчеловодства и сбора меда на продовольственную безопасность России. *Инновации и продовольственная безопасность.* 2025;21(48):72-82. https://doi.org/10.31677/2311-0651-2025-48-2-72-82
   Lyashenko M.V., Kalmykov S.P., Budnova M.V. Features of the impact of beekeeping and honey collection on food security in Russia. *Innovations and Food Safety*. 2025;21(48):72-82. (In Russ.) https://doi.org/10.31677/2311-0651-2025-48-2-72-82
5. Kernecker M., Felipe-Lucia M., Westphal C. et al. Managing agrobiodiversity: integrating field and landscape scales for biodiversity-yield synergies. *Basic and Applied Ecology*. 2024;75:26-30. https://doi.org/10.1016/j.baae.2024.01.001
6. Афанасьев В.И. Состояние и перспективы развития пчеловодства России. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве.* 2023;2(96):16-132. https://doi.org/10.33938/232-126
   Afanasyev V.I. The state and prospects of beekeeping development in Russia. *Economy, Labor, Management in Agriculture.* 2023;2(96):16-132. (In Russ.) https://doi.org/10.33938/232-126
7. Сауров С.Е. Влияние пчелоопыления на урожайность. *Universum: химия и биология: электрон. науч. журн.* 2023;1(91). https://doi.org/10.32743/UniChem.2022.91.1.128253
   Saurov S.E. The effect of bee pollination on yield. *The journal "Universum: Chemistry and Biology"*. 2023;1(91). (In Russ.) 2023;1(91). https://doi.org/10.32743/UniChem.2022.91.1.128253
8. Осинцова Л.А. Состояние популяции медоносных пчел *Apis Mellifera* L. при росте пестицидной нагрузки в агроценозах. *Вестник НГАУ.* 2023;4(59):253-272. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-69-4-253-271
   Osintsova L.A. The state of populations of honey bees, *Apis Mellifera* L., with an increase in the pesticide load in agrocenoses. *Vestnik NGAU.* 2023;4(59):253-272. (In Russ.) https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-69-4-253-271
9. Богуславский Д.В., Захаров И.С. Роль внешних факторов в эмбриогенезе Apis Mellifera. *Онтогенез*. 2021;52(6):476-484. https://doi.org/10.31857/S0475145021060021
   Boguslavsky D.V., Zakharov I.S. The role of external factors in embryogenesis of Apis Mellifera. *Ontogenez*. 2021;52(6):476-484. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0475145021060021

10. Самсонова И.Д., Сидоренко П.В. Особенности нектарной продуктивности малины. *Пчеловодство.* 2023;10:24-26.
Samsonova I.D., Sidorenko P.V. Peculiarities of nectar-bearing capacity of raspberry. *Beekeeping.* 2023;10:24-26. (In Russ.)
11. Захаров А.И., Лопаева Н.Л. Важность насекомых-опылителей для продуктивности экосистемы. *Молодежь и наука*. 2024;3:19-21
Zakharov A.I., Lopayeva N.L. The importance of pollinating insects for ecosystem productivity. *Youth and Science*. 2024;3:19-21. (In Russ.)
12. Комлацкий Г.В., Лещенко И.А. Опылительная деятельность пчел на тыкве. *Пчеловодство.* 2023;8:16-17
Komlatsky G.V., Leshchenko I.A. Pollination activity of bees on a pumpkin. *Beekeeping.* 2023;8:16-17. (In Russ.)
13. Минаков И.А. Развитие пчеловодства в России: проблемы и решения. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета.* 2024;1(76):147-152. EDN QWTIMC
Minakov I.A. The development of beekeeping in Russia: problems and solutions. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2024;1(76):147-152. (In Russ.) EDN QWTIMC
14. Велкова Н.И., Наумкин В.П. Медоносные пчелы и дикие опылители на посевах горчицы белой. *Пчеловодство.* 2024;8:18-19
Velkova N.I., Naumkin V.P. Honey bees and wild pollinators on white mustard crops. *Beekeeping.* 2024;8:18-19. (In Russ.)
15. Захарян И.Л. ESG-повестка в апикультуре: устойчивость, биоразнообразие и готовность потребителей поддерживать «Polunator-Friedly» продукты. *Universum: экономика и юриспруденция*. 2026;3(137). https://doi.org/10.32743/1339.22113
Zakharyan I.L. ESG agenda in apiculture: sustainability, biodiversity, and consumer willingness to support Polunator-Friedly products. *Universum: Economics and Law.* 2026;3(137). (In Russ.) https://doi.org/10.32743/1339.22113
16. Бочковой А.Д., Хатинский В.И., Камардин В.А. Семеноводство гибридного подсолнечника: методика, нормативные акты, технические приемы (обзор). *Масличные культуры*. 2019;2(178):110-127. https://doi.org/10.25230/2412–608X–2019–2–178–110–127
Bochkovoi A.D., Khatinsky V.I., Kamardin V.A. Seed growing of hybrid sunflower: methods, regulations, techniques (review). *Oil Crops*. 2019;2(178):110-127. (In Russ.) https://doi.org/10.25230/2412–608X–2019–2–178–110–127
17. Митрофанов С.В., Шестакова А.И., Пакискири Т.В. и др. Анализ влияния глобальных изменений климата на устойчивость пчеловодства. *Вестник НГАУ.* 2024;11(70):219-224. https://doi.org/10.31677/2072-6724-70-1-219-224
Mitrofanov S.V., Shestakova A.I., Pakiskiri T.V. et al. Analysis of the impact of global climate change on the sustainability of beekeeping. *Vestnik NGAU.* 2024;11(70):219-224. (In Russ.) https://doi.org/10.31677/2072-6724-70-1-219-224
18. Анпилогова Д.Д. Оценка экосистемной функции опыления в агроландшафте (на примере Веневского района Тульской области). *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. 2024;9.1(35):5-13. https://doi.org/10.25744/genb.2024.67.15.001
Anpilogova D.D. Assessing pollination ecosystem service in the agricultural landscape: a case study of the Tula Region Venev District. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2024;9(1):5-13. (In Russ.) https://doi.org/10.25744/genh.2024.67.15.001
19. Barghjelveh S. Using the Lonsdorf Model for estimating habitat loss and fragmentation effects on pollination service. *Ecological Processes*. 2021;10:22. https://doi.org/10.1186/S13717-021-00291-8
20. Халявин И.А., Екатерина С.О., Мурашкин М.Р., Новикова А.В. Определение пестицидов в подморе пчел с применением газовой хромато-масс-спектрометрии. *Аграрный вестник Северного Кавказа.* 2026;16(1):101-111. https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-101-111 EDN DFXZGK
Khalyavin I.A., Osinova E.S., Murashkin M.R., Novikova A.V. Determination of pesticides in bee mortality using gas chromatography–mass spectrometry. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus.* 2026;16(1):101-111. (In Russ.) https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-101-111

21. Збанацкий О.В., Куданев А.И., Родченко Е.И. Контрактное опыление в России: состояние, проблемы и способы решения. *Пчеловодство.* 2024;7:48-50.
Zbanatsky O.V., Kudanev A.I., Rodchenko E.I. Contract pollination in Russia: status, problems, and solutions. *Beekeeping.* 2024;7:48-50. (In Russ.)
22. Ferenczi, A. Evaluation of the pollination ecosystem service of the honey bee (*Apis mellifera*) based on a beekeeping model in Hungary. *Sustainability.* 2023;15:9906. AG. https://doi.org/10.3390/SU15139906
23. Fenton M., Goodrich B.K., Penn J. Measuring beekeepers' economic value of contract enhancements in almond pollination agreements. *Ecological Economics*. 2025;227:108351. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108351
24. Ильясов Р.А., Богуславский Д.В., Ильясова А.Ю. и др. Коэволюция медоносной пчелы и человека — адаптивная эволюция двух видов. *Успехи современной биологии.* 2024;144(5):533-549. https://doi.org/10.31857/S0042132424050042
Ilyasov R.A., Boguslavsky D.V., Ilyasova A.Y. et al. Coevolution of honeybees and humans — adaptive evolution of two species. *Uspekhi Sovremennoi Biologii.* 2024;144(5):533-549. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0042132424050042
25. Bixby M., Scarlett R., Hoover S.E. Winter mortality, diversification, and self-sufficiency affect honey bee (Hymenoptera: Apidae) colony profit in Canada: a model of commercial Alberta beekeepers. *Journal of Economic Entomology*. 2023;116(3):686-696. https://doi.org/10.1093/jee/toad056
26. Fei C.J., Williamson K.M., Woodward R.T. et al. Honey bees, almonds, and colony mortality: an economic simulation of the U.S. pollination market. *Land Economics*. 2021;97(3):688-703. https://doi.org/10.3368/le.97.3.688
27. Parveen N., Miglani R., Kumar A. et al. Honey bee pathogenesis posing a threat to its global population: a short review. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. 2022;88:11-32. https://doi.org/10.1007/s43538-022-00062-9
28. Evans S.K., Clouston G., Regev Y. et al. Effect of honey bee colony strength on foraging productivity and its application to precision pollination. *Insects.* 2026;17(2):163. https://doi.org/10.3390/insects17020163
29. Kumar A., Rajwar N., Tonk T. *Climate Change Effects on Plant-Pollinator Interactions, Reproductive Biology and Ecosystem Services*. *Singh H. (ed.) Forests and Climate Change.* Springer. Singapore; 2024.97-177. https://doi.org/10.1007/978-981-97-3905-9_5
30. Sabbahi R. Effects of Climate Change on Insect Pollinators and Implications for Food Security — Evidence and Recommended Actions. *Behnassi M., Gupta H., Barjees Baig M., Noorka I.R. (eds.) The Food Security, Biodiversity, and Climate Nexus.* Springer International Publishing, Cham. 2022:143-163. https://doi.org/10.1007/978-3-031-12586-7_8
31. Rahimi E., Jung C. Mapping co-occurrence dynamics between crops and honeybees under climate change in North America. *Community Ecology*. 2025;26:489-499. https://doi.org/10.1007/s42974-025-00262-5
32. Комлацкий Г.В., Терещенко Г.А. Пчеловодство в контексте реализации концепции «Сельское хозяйство 4.0». *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2025;118:40-50. https://doi.org/10.21515/1999-1703-118-40-50
Komlatsky G.V., Tereshchenko G.A. Beekeeping in the context of the implementation of the concept "Agriculture 4.0". *Transactions of the Kuban State Agrarian University.* 2025;118:40-50. (In Russ.) https://doi.org/10.21515/1999-1703-118-40-50

33. Комлацкий Г.В., Терещенко Г.А., Комлацкая М.Г. Кооперация в многофакторной модели экологизированного индустриального пчеловодства. *Вестник Академии знаний.* 2026;2(73):248-253. EDN NHPHAG
Komlatsky G.V., Tereshchenko G.A., Komlatskaya M.G. Cooperation in a multifactor model of environmentally friendly industrial beekeeping. *Bulletin of the Academy of Knowledge.* 2026;2(73):248-253. (In Russ.) EDN NHPHAG

Сведения об авторах

Комлацкий Григорий Васильевич — кандидат экономических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры институциональной экономики и инвестиционного менеджмента, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия
https://orcid.org/0000-0001-9810-7946
SPIN-код: 5376-4689
gregwk@mail.ru

Терещенко Галина Алексеевна — преподаватель кафедры институциональной экономики и инвестиционного менеджмента, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия
https://orcid.org/0000-0002-2031-3325
SPIN-код: 9406-6927
tereshenko-galina@mail.ru

Комлацкая Мария Григорьевна — обучающаяся, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия
https://orcid.org/0009-0008-4830-1490
SPIN-код: 6998-2085
mariakomlackaa@gmail.com

About the authors

Grigory V. Komlatsky — Cand. Sci. (Econ.), Dr. Sci. (Agric.), Prof., Department of Institutional Economics and Investment Management, Kuban State Agrarian University by name I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia
https://orcid.org/0000-0001-9810-7946
gregwk@mail.ru

Galina A. Tereshchenko — Lecturer, Department of Institutional Economics and Investment Management, Kuban State Agrarian University by name I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia
https://orcid.org/0000-0002-2031-3325
tereshenko-galina@mail.ru

Maria G. Komlatskaya — Student, Kuban State Agrarian University by name I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia
https://orcid.org/0009-0008-4830-1490
mariakomlackaa@gmail.com

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-129

Understanding sustainable organic food repurchase through behavioral and health factors

CORRESPONDENCE:
Michael Christian
E-mail: michaelchristianid@gmail.com

FOR CITATION:
Christian M., Wibowo S., Muzammil O.M., Yulita H., Rembulan G.D. Understanding sustainable organic food repurchase through behavioral and health factors. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):41-55. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-129

RECEIVED: 11.06.2026
REVISED: 19.07.2026
ACCEPTED: 27.07.2026
PUBLISHED ONLINE: 20.08.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Christian M., Wibowo S., Muzammil O.M., Yulita H., Rembulan G.D.

M. Christian [1]✉, S. Wibowo [2], O. M. Muzammil [3], H. Yulita [4], G. D. Rembulan [1]

[1] Universitas Bunda Mulia, Jakarta, Indonesia

[2] Krida Wacana Christian University, Jakarta, Indonesia

[3] Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia

[4] Universitas Multimedia Nusantara, Tangerang, Indonesia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Concerns about food quality, food safety, and sustainable agricultural production have increased interest in organic food consumption. However, limited research has examined the factors influencing repurchase intention among Gen Z in urban markets.

AIM. This study examines the effects of perceived behavioural control, subjective norms, and health consciousness on organic food repurchase intention and their moderating roles.

MATERIALS AND METHODS. A quantitative approach using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) was applied. Data were collected through a questionnaire survey of 120 Gen Z respondents who had recently purchased or consumed organic food and were analysed using SmartPLS.

RESULTS. Perceived behavioural control ($p = 0.001$), subjective norms ($p < 0.001$), and health consciousness ($p = 0.005$) significantly affected repurchase intention. However, the moderating effects of subjective norms ($p = 0.710$) and health consciousness ($\beta = 0.046$, $p = 0.384$) were not significant. The model explained 69.9% of the variance in repurchase intention ($R^2 = 0.699$).

CONCLUSION. Personal capability, social influence, and health consciousness are important drivers of continued organic food consumption, with practical implications for organic food supply chains, digital distribution platforms, and sustainable agricultural products.

KEYWORDS: organic food, repurchase intention, behavioral control, health consciousness, Gen Z

Исследовательская статья

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-129

Изучение поведенческих и здоровьеориентированных факторов, определяющих устойчивые повторные покупки органических продуктов питания

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Майкл Кристиан
E-mail: michaelchristianid@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Кристиан М., Вибово С., Музаммиль О.М., Юлита Х., Рембулан Г.Д. Изучение поведенческих и здоровьеориентированных факторов, определяющих устойчивые повторные покупки органических продуктов питания. *Аграрный вестник Северного Кавказа.* 2026;16(3):41-55. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-129
EDN UTGCMN

ПОСТУПИЛА: 11.06.2026
ДОРАБОТАНА: 19.07.2026
ПРИНЯТА: 27.07.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 20.08.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Кристиан М., Вибово С., Музаммиль О.М., Юлита Х., Рембулан Г.Д.

М. Кристиан ✉[1], С. Вибово [2], О.М. Музаммиль [3], Х. Юлита [4], Г.Д. Рембулан [1]

[1] Университет Бунда Мулиа, Джакарта, Индонезия

[2] Христианский университет Крида Вачана, Джакарта, Индонезия

[3] Университет Бина Нусантара, Джакарта, Индонезия

[4] Университет Мультимедиа Нусантара, Тангеранг, Индонезия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Повышенное внимание к качеству продовольствия, его безопасности и устойчивости агропроизводства стимулирует рост потребительского спроса на органическую продукцию. Вместе с тем остается недостаточно изученным вопрос о факторах, формирующих повторные покупательские намерения у представителей поколения Z в условиях городских рынков.

ЦЕЛЬ. Изучить влияние воспринимаемого поведенческого контроля, субъективных норм и осознанности в отношении здоровья на намерение повторно приобретать органические продукты питания, а также их модераторские эффекты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В работе применен количественный подход с использованием моделирования структурными уравнениями методом наименьших частных квадратов (PLS-SEM). Эмпирические данные собраны посредством анкетного опроса 120 респондентов из числа поколения Z, которые приобретали или употребляли органические продукты. Обработка данных выполнена с применением программного пакета SmartPLS.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что воспринимаемый поведенческий контроль (p = 0,001), субъективные нормы (p < 0,001) и озабоченность здоровьем (p = 0,005) оказывают статистически значимое положительное влияние на повторное покупательское намерение. При этом модераторские эффекты субъективных норм (p = 0,710) и озабоченности здоровьем (β = 0,046, p = 0,384) не достигают уровня значимости. Разработанная модель объясняет 69,9 % дисперсии зависимой переменной (скорректированный коэффициент детерминации R^2 = 0,699).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Личностные возможности, социальное влияние и забота о здоровье выступают в качестве значимых драйверов устойчивого потребления органической продукции. Полученные выводы имеют практическую значимость для развития цепочек поставок органических продуктов, цифровых дистрибутивных платформ и продвижения экологически устойчивых агропродовольственных товаров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: органические продукты питания, повторное покупательское намерение, поведенческий контроль, забота о здоровье, поколение Z

INTRODUCTION

In the last few years, the concept of organic food systems has significantly changed from the traditional paradigm of the absence of synthetic inputs due, partly to academic evolution and partly to other reasons. Organic food systems now comprise a range of products such as rice, fruits, vegetables, coffee, tea, cocoa, and legumes, produced under ecological standards that prohibit synthetic inputs and promote sustainability [1; 2]. Organic food is increasingly seen as a holistic system of sustainable agricultural production, processing and supply chain management, and a broader sustainability agenda [3], which leads to the adoption of ecological farming, regenerative agriculture and resource-efficient production for environmental sustainability. There is also increasing adoption of technologies such as AI and digital agriculture to enhance productivity, food safety and operation efficiency along the supply chain [4; 5]. These trends suggest a greater focus on technology, quality and environmental responsibility in organic food systems as they try to respond to the increasing global demand to sustainable food production and consumption [6–8].

Previous research identifies young consumers as a promising market for organic food because many of them show a willingness to maintain organic purchasing over time [9; 10]. However, the reasons underlying continued organic food consumption are diverse. Health consciousness and food safety are frequently identified as central motives because organic products are commonly associated with healthier and safer lifestyles [11–13]. Environmental awareness, altruistic values, and sustainability concerns may further strengthen consumers' commitment to organic consumption. Continued purchasing is also influenced by peer and family norms, cultural values, product knowledge, trust in organic labels, and positive brand experiences [14–17]. Organic food loyalty among young consumers should therefore be understood as a multidimensional outcome shaped by both personal motivations and social influences.

Previous studies have examined organic food purchasing across different generations and market contexts. Research involving Gen Z in developing economies has shown that health and environmental concerns, social influence, product trust, and perceived value can support organic food purchase and repurchase intention [15–17] Studies conducted in China and Bangladesh have also identified perceived behavioral control, health-related values, trust, and price consciousness as relevant factors in continued purchase intention and actual organic food consumption [16; 18–20]. Evidence from European consumers further indicates that product knowledge, perceived quality, availability, and sustainability-related motives contribute to organic food choices [21].

The concept and growing relevance of behavioral control suggest that consumers are more probable to buy and eat organic food when they believe they are able to get, afford, along with choose such products despite potential barriers. Viewed from this perspective, perceived behavioral control (PBC) is defined as what customers think regarding their capacity, afford, and consistently purchase organic food. Previous studies generally show positive effect of PBC on purchase intention and continued consumption, as consumers who perceive fewer barriers are more probable to maintain organic food choices over time [16; 22]. This relationship is particularly salient for younger consumers whose purchase decisions are often influenced by financial resources, product availability and changing lifestyle patterns. However, the impact of PBC is not always constant. Some studies have suggested it could have a weaker influence than attitudes or price factors and that this impact can vary by country, consumer segment and market conditions [23–25]. Based on the preceding arguments and empirical evidence, this study proposes that perceived behavioral control positively influences Gen Z's intention to repurchase organic food products **(H1a)**.

Subjective norms (SN) in the context of organic foods are defined as social drive felt by key people, including family, friends and peers, that encourage individuals to perform a particular behavior, including the continued purchase and consumption of organic food [26; 27]. These social influences are particularly relevant for younger consumers because peer interactions, social expectations, and shared lifestyle values often influence purchasing decisions. The earlier investigations have showed that subjective norms have a positive effect on the purchase intentions and continuous eating of organic food products especially in collectivistic cultures that value social approval and conformity to group norms [14; 28]. However, the strength of this effect may be dependent on the context. Some research has found weak or non-significant relationships, suggesting that social influence may have different levels of importance depending on cultural background, market circumstances, or consumer characteristics [16; 29]. Inspired by these results, subjective norms could also be a contextual factor that affects the conversion of per-

ceived behavioral control into a long-term organic food consumption in the case of the younger generations, whose purchasing behavior is very sensitive to changing social settings and consumption trends [19; 30]. Drawing on the theoretical arguments and empirical findings discussed above, this investigation proposes that subjective norms positively influence Gen Z's intention to repurchase organic food **(H1b)**. In addition, it is projected that subjective norms serve as a moderating factor in the interplay within perceived behavioral control and organic food repurchase intention, such that the effect of perceived behavioral control may vary depending on the level of social influence perceived by Gen Z **(H2a)**.

As consumer trends continue to evolve and understand of organic food increases, health has become a central consideration that shapes individuals' decisions to buy and eat organic food products. In this context, health consciousness (HC) refers to the understanding and concern about maintaining and enhancing a person's health through lifestyle and consumption choices, such as the choice of purchasing and consuming organic food. Regarding to organic food consumption, health-conscious consumers tend to think of organic products as safer, healthier, and better for long-term well-being [9; 31]. This view is especially relevant for younger generations, who are becoming more aware of healthy lifestyles and food quality. Previous studies in different countries and among different consumer groups have consistently reported a positive effect of health consciousness on organic food buying intentions and continued consumption [16; 18]. However, the strength of this relationship is not always consistent. Some studies have found that health consciousness has a relatively small effect compared to other factors such as price, willingness to pay, or social influences, while others even report non-significant effects in specific contexts [32; 33]. Based on these findings, health consciousness may also influence how consumers translate perceived behavioural control into continued organic food consumption, as people with a higher level of health consciousness are more probable to be motivated to act on their perceived ability to access and purchase organic products [34; 35]. In light of the preceding discussion, health consciousness is expected to be a significant positive determinant of organic food repurchase intention among Gen Z **(H1c)**. In particular, this research assumes that the consequences of perceived behavioral control on repurchase intention may differ according to consumers' level of health consciousness. Thus, the study proposes that health consciousness moderates the relationship between perceived behavioral control and intention to repurchase organic food among Gen Z **(H2b)**.

MATERIALS AND METHODS

This investigation used a quantitative approach in order and Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) were applied to assess the direct and moderating relationships of the proposed constructs. The proposed model and hypothesized paths investigated in this study are shown in Figure 1. The data were obtained from the questionnaire survey of 120 Gen Z individuals who were aware and have previously purchased or consumed organic food products. For the purpose of this study, Gen Z was operationally defined as individuals aged 20–29 years.

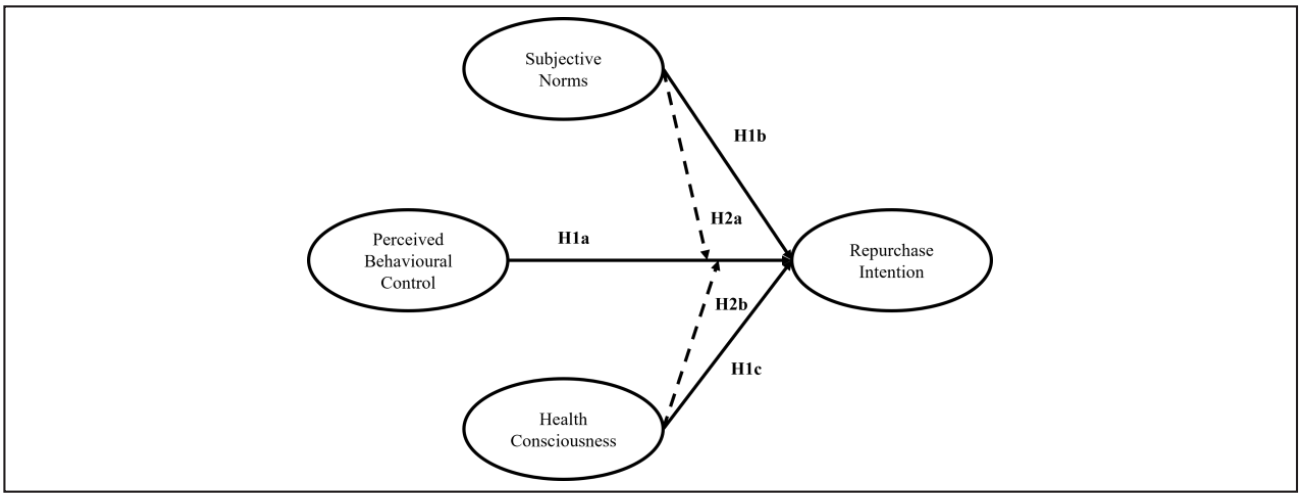


Figure 1
Proposed Model

This age range was used to include adult Gen Z who could independently make decisions concerning the purchase and consumption of organic food. Respondent eligibility was verified from their answers to the questionnaire. Participants were required to report that they had previously purchased or consumed organic food and to select a valid category describing their usual organic food purchase frequency. Only respondents who met these eligibility criteria were retained in the final sample. Respondents were determined using purposive sampling, and the sample numbers met the minimum requirement recommended by [36; 37] based on a five-to-one ratio between the number of measurement items and respondents.

Measurement items in Table 1 were adapted from [16]. Repurchase intention, subjective norms, perceived behavioral control, and health consciousness were each measured using three indicators. Respondents were told about the objective of the study prior to participating and participation was voluntary. No sensitive personal information was collected. Outer model and inner model assessments and hypothesis testing were performed using SmartPLS to examine the hypothesized direct and moderation effects.

RESULTS

The study comprised a total of 120 Gen Z respondents (Table 2). The sample was mostly female (75.0%) and the majority of the respondents were between the ages of 20 and 23 years (88.33%). The majority of the subjects were students (84.17%), followed by private sector employees (14.17%) and housewives (1.67%). In terms of purchase behavior of organic foods, vegetables emerged as the most purchased organic food category (43.33%) followed by processed organic products such as milk and packaged foods (29.17%) and fruits (27.50%). In terms of purchase frequency, over half of the respondents (56.67%) purchased organic food two to three times per month, while 35.83% purchased organic products once a month and only 7.50% reported purchasing them more than three times a month. These characteristics indicate that the sample largely consists of young consumers with regular exposure to organic food products.

Outer Model Measurement

The measurement of the outer model (Table 3) was found to be reliable and valid. All outer loading (OL) values spanned between 0.802 and 0.913, reaching the suggested cutoff of 0.70 and verifying indicator reliability. Cronbach's alpha (CA) levels were between 0.797 and 0.869, while composite reliability (CR) values were from 0.880 and 0.920, both exceeding the minimum criteria of 0.70. The average variance extracted (AVE) was in excess of the proposed cut-off of 0.50, with values spanning 0.710 to 0.792, demonstrating the measure's convergent validity. The HTMT values were all less than 0.90, with a range of 0.687 to 0.893, showing adequate discriminant validity. Finally, VIF values spanned from 1.604 to 2.840, significantly shown below the 5.00 criterion, implying that collinearity was not an issue in the measurement framework.

Table 1
Construct Measurement

Construct	Item
Repurchase Intention [16]	Planning to buy organic foods in near future
	Purchase organic food regularly
	Maintain repeated purchases of organic products
Subjective Norms [16]	Perceptions of increasing organic food trends
	Beliefs held by people in the surrounding environment regarding the health benefits of organic food
	Approval from family and close friends
Perceived Behavioral Control [16]	Ease of buying organic food as perceived by consumers
	Availability of resources such as time and money
	Perceived control over purchasing decisions
Health Consciousness [16]	Concerns about daily nutritional intake
	Beliefs regarding the health benefits of organic food
	Awareness of healthy eating practices

Table 2
Participants Characteristics

Characteristics		Freq	%
Gender	Female	90	75.00
	Male	30	25.00
Age	20–23	106	88.33
	24–26	9	7.50
	27–29	5	4.17
Occupation	Students	101	84.17
	Private employee	17	14.17
	Housewives	2	1.67
Which type of organic food do you buy most often?	Vegetables	52	43.33
	Fruits	33	27.50
	Processed organic products (milk, eggs, etc.)	35	29.17
How frequently do you buy organic food products?	Once a month	43	35.83
	Two to three times a month	68	56.67
	More than 3 times a month	9	7.50

Table 3
Outer Model Measurement

Construct – Item	OL	CA	CR	AVE	HTMT				VIF
					HEA	PBC	RPI	SUB	
Health Consciousness	—	—	—	—	—	—	—	—	2.221
HEA1	0.859	0.810	0.887	0.724	—	—	—	—	1.719
HEA2	0.836								1.748
HEA3	0.858								1.865
Perceived Behavioural Control	—	—	—	—	—	—	—	—	2.840
PBC1	0.913	0.869	0.920	0.792	0.813	—	—	—	2.699
PBC2	0.880								2.175
PBC3	0.877								2.188
Repurchase Intention	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RPI1	0.862	0.797	0.880	0.710	0.797	0.889	—	—	1.791
RPI2	0.802								1.62
RPI3	0.862								1.703
Subjective Norms	—	—	—	—	—	—	—	—	1.910
SUB1	0.858	0.802	0.884	0.717	0.687	0.797	0.893	—	1.853
SUB2	0.827								1.604
SUB3	0.854								1.776

**OL = Outer loading (>0.7), CA = Cronbach's alpha (>0.7), CR = Composite reliability (>0.7), AVE = Average variance extracted (>0.5), HTMT = Heterotrait-monotrait ratio (<0.9), VIF = Variance inflation factor (<5); HEA = Health Consciousness, PBC = Perceived Behavioural Control, RPI = Repurchase Intention, SUB = Subjective Norms*

Inner Model Measurement

The inner model measurement (Table 4) indicates satisfactory predictive capability. The endogenous construct, Repurchase Intention, achieved an R^2 value of 0.699, suggesting that Health Consciousness, Perceived Behavioural Control, Subjective Norms, and the interaction effects explain 69.9% of its variance. According to the generally accepted guidelines R^2 values higher than 0.50 can be considered as a moderate explanatory power and those higher than 0.75 as a substantial explanatory power, so the obtained value shows a moderate to high

explanatory accuracy. All the Q^2 values were positive and spanned from 0.371 to 0.609, thus over the suggested of 0.00 recommended, suggesting that the model has sufficient predictive relevance and is able to predict the observed data with satisfactory accuracy.

Table 4
Inner Model Measurement

Construct — Item	Q^2	R^2
Health Consciousness	0.434	—
HEA1	0.419	—
HEA2	0.424	—
HEA3	0.459	—
Perceived Behavioural Control	0.553	—
PBC1	0.609	—
PBC2	0.523	—
PBC3	0.526	—
Repurchase Intention	0.408	0.699
RPI1	0.436	—
RPI2	0.371	—
RPI3	0.419	—
Subjective Norms	0.424	—
SUB1	0.460	—
SUB2	0.377	—
SUB3	0.434	—

The model fit assessment is shown in Table 5, which reveals that the suggested model has an adequate general fit. The SRMR values for both saturated and estimated models were 0.075, which is less than the recommended value of 0.08. The NFI score of 0.782 and 0.780 suggest a moderate level of fit; though they do not reach the higher threshold of 0.90, NFI is generally considered a supplementary index in PLS-SEM. The d_ULS and d_G values (0.437–0.444 and 0.284–0.285) are reported as discrepancy measures and are generally interpreted by comparing them with bootstrap confidence intervals. In general, the model shows an adequate level of fit and is suitable for an extended examination of the structural equation model.

Table 5
Model Fit Assessment

Description	Saturated Model	Estimated Model
SRMR	0.075	0.075
d_ULS	0.437	0.444
d_G	0.284	0.285
Chi-Square	195.366	197.228
NFI	0.782	0.780

The path coefficient analysis presented in Table 6 showed that perceived behavioral control, subjective norms, and health consciousness had positive and significant effects on organic food repurchase intention. Perceived behavioral control positively predicted repurchase intention ($\beta = 0.385$, $t = 3.283$, $p = 0.001$), supporting H1a. Subjective norms also had a positive effect on repurchase intention ($\beta = 0.390$, $t = 4.566$, $p < 0.001$), supporting H1b. Health consciousness positively influenced repurchase intention ($\beta = 0.214$, $t = 2.803$, $p = 0.005$), supporting H1c. In contrast, the moderating effects of subjective norms ($\beta = 0.030$, $t = 0.372$, $p = 0.710$) and health consciousness ($\beta = 0.046$, $t = 0.871$, $p = 0.384$) were not statistically significant. Therefore, H2a and H2b were not supported.

Table 6
Path Coefficients

Path — Hypothesis		OS	SM	STD	T	*p*	Remark
Perceived Behavioural Control → Repurchase Intention	H1	0.385	0.373	0.117	3.283	0.001	Supported
Subjective Norms → Repurchase Intention	H2	0.390	0.398	0.085	4.566	0.000	Supported
Moderating Effect 1 → Repurchase Intention	H3	0.030	0.032	0.081	0.372	0.710	Not supported
Health Consciousness → Repurchase Intention	H4	0.214	0.221	0.077	2.803	0.005	Supported
Moderating Effect 2 → Repurchase Intention	H5	0.046	0.043	0.053	0.871	0.384	Not supported

**OS = Original sample; M = Sample mean; STD = Standard deviation; p = p-value.*

DISCUSSION

Perceived Behavioural Control as a Key Driver of Organic Food Repurchase Intention

Results support H1 Perceived behavioral control positively and significantly influences repurchase intention. This means that Gen Z is more probable to buy more organic food if they feel it is easy to do and in their control. In the setting of this investigation, respondents who felt that organic food was easy to obtain, believed they had sufficient time and financial resources to purchase it, and considered the purchasing decision to be entirely under their own control were more probable to repurchase organic food products in the future. This finding is aligns with earlier research, reporting that perceived behavioural control is a major predictor of organic food buying and continuance intentions because it reduces practical barriers and strengthens consumers' confidence in maintaining organic consumption habits [16; 29]. The result also supports evidence from Gen Z, where more power over materials, knowledge, and purchasing opportunities encourages more consistent green purchasing behaviour [38]. Furthermore, the predominance of young consumers in this study may explain the strength of this relationship, as Gen Z is highly familiar with digital platforms that make organic products easier to search, compare, and purchase. Previous research has shown that e-commerce platforms, mobile applications, and digital food delivery services improve convenience, accessibility, and purchasing efficiency, thereby reinforcing consumers' perceptions of control and encouraging repeated purchases [39–41]. Therefore, the present finding strengthens the argument that perceived behavioural control remains a key behavioural mechanism underlying organic food repurchase intention among contemporary Gen Z.

Social Influence as a Catalyst for Organic Food Repurchase among Young Generation

The result shows that subjective norm has a favorable and significant impact on consumers' repurchase intention of organic food in Gen Z and thus supports H2 ($\beta = 0.390$, $p < 0.001$). This implies that youth people are more probable to repurchase organic food if they believe others expect them to do so. Subjective norm was measured in this study driven by the perception of increasing organic food trends, the belief of surrounding people about the health advantage of organic food, and the approval of family and close friends, which seems to reinforce stronger intentions to repurchase organic products. The outcomes are line up with previous investigation that has demonstrated the crucial role of social influence to predict organic food intentions and behaviors, especially among younger consumers and in a collectivistic setting where group approval and conformity are still vital [9; 14; 26]. This also supports the evidence that Gen Z is heavily connected to social media, online communities and word-of-mouth networks that make social cues more relevant in their consumption decisions [15; 42]. Furthermore, the relatively strong coefficient found in this study supports the arguments that subjective norms affect attitudes toward organic food, but they may also directly stimulate repurchase intention when organic consumption becomes a socially desirable and widely accepted behavior [12; 43]. The exposure to organic food discussion, recommendation, and positive feedback from peers and family members among digitally-connected Gen Z in Jakarta may reinforce positive perception and encourage continued purchasing behavior. Therefore, the present study strengthens the growing evidence that social influence remains a significant behavior mechanism behind organic food repurchase intention among contemporary young consumers.

Personal Control Matters More Than Social Pressure in Organic Food Repurchase

Hypothesis testing does not support H3, indicating that subjective norms do not significantly affect the link between perceived behavioral control and organic food repurchase intention among Gen Z customers ($\beta = 0.030$, $p = 0.710$). This finding implies that although social influence directly encourages organic food repurchase, it has no effect on customers' perceived capacity to access and purchase organic food. In this investigation, perceived behavioural control was reflected by ease of purchasing organic food, the availability of time and financial resources, and personal control over purchasing decisions, whereas subjective norms captured increasing organic food trends, beliefs of surrounding people regarding health benefits, and approval from family and close friends. This result is consistent with studies reporting that subjective norms often become weak or insignificant once consumers rely more on internal motivations and perceived capabilities, particularly among younger and digitally connected consumers [44; 45]. The slope analysis (Figure 2) further supports this conclusion; the three lines for low (–1 SD), mean, and high (+1 SD) levels of subjective

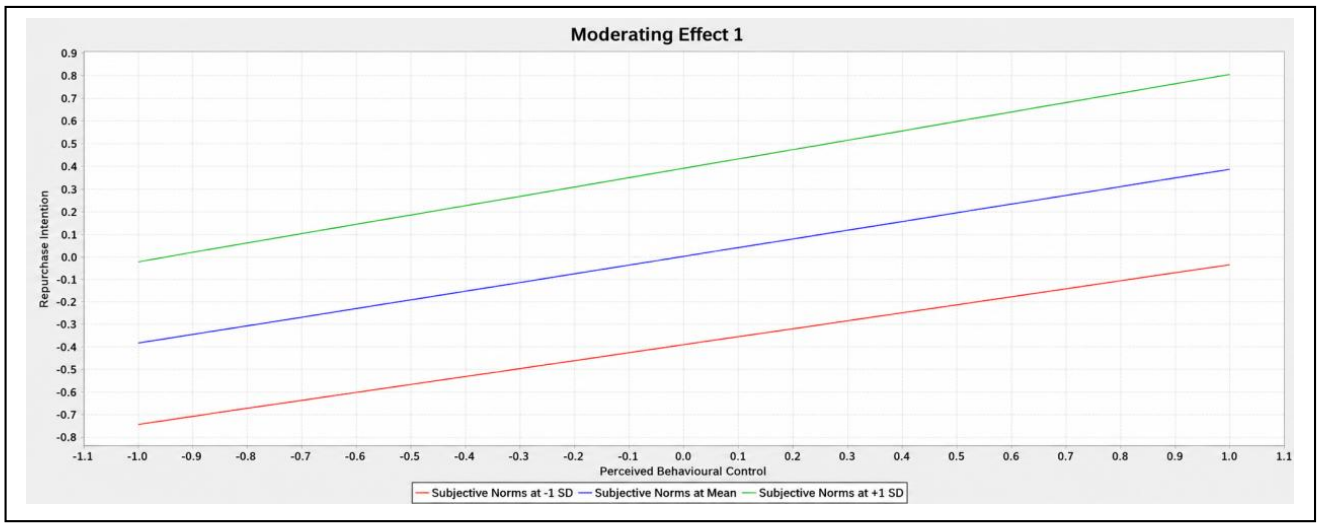


Figure 2
Slope Analysis: Moderating Effect 1

norms all show the similar positive slopes. Consumers with higher subjective norms always report slightly higher levels of repurchase intention, but the parallel pattern means that the power of the perceived behavioural control-repurchase intention relationship is not significantly different across levels of social influence. In other words, subjective norms are influential in determining the overall level of repurchase intention, but not the effect of perceived behavioural control itself. This trend lines up with earlier research that perceived behavioural control and subjective norms generally are parallel predictors rather than interactive factors [27; 46]. Moreover, digital marketplaces, traceability systems and increased supply chain transparency mainly enhance consumers' perceived level of control and access to information rather than social pressure [34; 47; 48]. Therefore, Gen Z in Jakarta appear to make repeat organic food purchases largely based on their own capabilities and access to information, regardless of whether social influence is relatively high or low.

Health-Oriented Consumption and the Growing Appeal of Organic Food Among Urban Generation Z

Health consciousness had a positive and significant effect on organic food repurchase intention among Gen Z, supporting H1c (β = 0.214, p = 0.005). Respondents who paid closer attention to their daily nutritional intake, believed in the health benefits of organic food, and considered healthy eating practices important were more likely to intend to purchase organic food again. This finding is consistent with previous studies identifying health consciousness as an important determinant of organic food purchase and repurchase intention because consumers commonly associate organic products with food safety, long-term health protection, and overall well-being [18; 49; 50]. This relationship may be particularly relevant in an urban setting such as Jakarta, where concerns about diet quality, environmental pollution, pesticide residues, and artificial additives may increase consumer interest in organic products [9; 51]. Organic food is also valued for production practices that restrict synthetic pesticides and artificial additives and exclude genetically modified organisms [21; 49; 52]. Greater access to organic certification information, digital traceability systems, and online product information may further strengthen consumers' confidence in product safety, origin, and production practices [40; 42; 53]. Overall, the findings indicate that health consciousness remains an important direct predictor of organic food repurchase intention among Gen Z.

Health Awareness and Perceived Control as Parallel Drivers of Organic Food Repurchase

The results show that health consciousness has no significant effect on the link between perceived behavioural control and repurchase intention and therefore H5 is not supported (β = 0.046, p = 0.384). This points out that Gen Z who are health-conscious, concerned about their daily nutritional intake, are convinced of the health advantages of organic food, and practice healthy eating habits are more probable to show stronger repurchase intentions, but health con-

sciousness does not significantly influence the effect of perceived behavioural control on their purchase decision. In this investigation, perceived behavioural control was reflected through ease of purchasing organic food, availability of time and financial resources, and personal control over purchasing decisions, whereas health consciousness captured nutritional concerns, beliefs regarding health benefits, and awareness of healthy eating practices. The outcome lines up with previous studies showing that health consciousness and perceived behavioural control generally function as independent predictors of organic food purchase and repurchase intentions rather than as interacting factors [16; 29; 49]. The slope analysis (Figure 3) further supports this conclusion. Although respondents with higher health consciousness (+1 SD) consistently reported higher levels of repurchase intention than those with average or lower health consciousness, the three slope lines remain nearly parallel across all levels of perceived behavioural control. This pattern indicates that health consciousness increases the overall tendency to repurchase organic food, it does not significantly strengthen or reduce the favorable effect of perceived behavioral control. In other words, consumers with low, moderate, and high health consciousness respond similarly to improvements in their capacity to find and buy organic food. Furthermore, the proliferation of e-commerce platforms, mobile organic food delivery applications, and information-rich digital supply chains primarily enhances consumers' convenience, accessibility, and purchasing capability, thereby reinforcing perceived behavioural control directly rather than through health-related motivations [39; 40; 54]. Therefore, among Gen Z in Jakarta, health consciousness and perceived behavioural control appear to encourage organic food repurchase through parallel rather than interactive mechanisms.

CONCLUSION

The objective of this study is to look at the factors affecting the repurchase intention of organic food for Gen Z, especially the impact of perceived behavioral control, subjective norms, and health consciousness. The influence of subjective norms and health consciousness on the connection between perceived behavioral control and repurchase intention is also explored. The outcomes show that perceived behavioral control, subjective norms and health consciousness are positive and substantial predictors of intention to repurchase organic food. These findings suggest that Gen Z is more probable to continue buying organic food when they view the behavior as easy and feasible, when they receive positive social support from surrounding environment, and when they are highly aware of healthy lifestyles and the health advantages of food. In contrast, subjective norms or health consciousness did not substantially moderate the perceived behavioral control-repurchase intention relationship, suggesting that these variables act as independent drivers rather than boundary conditions that intensify or dampen the effect of perceived behavioral control.

This investigation adds to the current literature by closing the continuous gap in organic food purchase intention and repurchase behaviour among the youn-

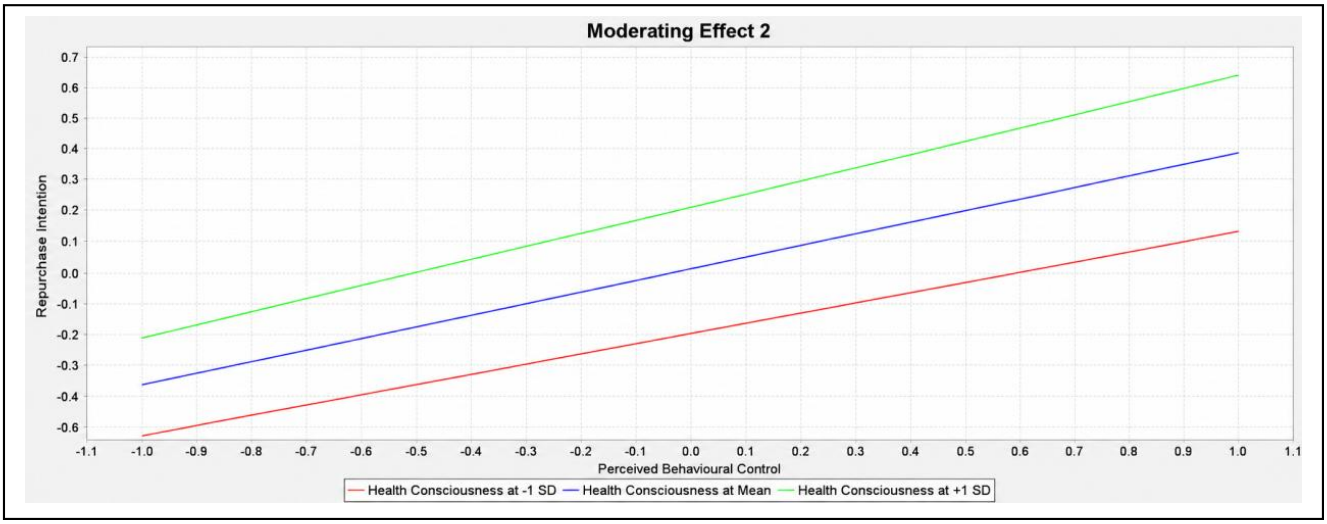


Figure 3
Slope Analysis: Moderating Effect 2

ger consumers. While prior investigations have primarily focused on initial purchase intention, the present findings provide evidence regarding the drivers of continued purchasing behaviour among Gen Z, a consumer segment that is increasingly important for the long-term development of the organic food market. The novelty of this investigation lies in demonstrating that social influence and health awareness remain important direct antecedents of repurchase intention, yet their moderating roles are not supported, suggesting that personal capability, access, and convenience remain the dominant mechanisms underlying repeat organic food purchases among digitally connected young consumers.

From a practical perspective, organic food producers, retailers, and digital platform providers should improve product availability, price transparency, accessibility, and purchasing convenience. Retailers and online platforms may support perceived behavioral control by making certified organic products easier to identify, compare, order, and receive. Marketing communication should provide credible and verifiable information about product origin, certification, production practices, and health-related attributes. Positive recommendations from family members, peers, online communities, and existing customers may also be used to strengthen repurchase intention, although such social communication should complement rather than replace improvements in product access and affordability.

Several limitations should be acknowledged. The study used a non-probability purposive sample of 120 Gen Z consumers from one urban geographical context. The sample was also predominantly female and composed mainly of students, which limits the generalizability of the findings to the wider Gen Z population. In addition, the cross-sectional design and self-reported measures do not allow conclusions about temporal changes or causal relationships. Future studies should use larger and more demographically balanced samples, probability or stratified sampling where feasible, and comparisons across cities, generations, or countries. Longitudinal designs and actual purchasing data could provide stronger evidence about changes in organic food repurchase behavior over time. Future research could also examine trust, environmental concern, product knowledge, perceived value, certification credibility, and digital engagement.

Data Availability

The data are available at the following link.

AI-Assisted Language Editing

The authors used AI-assisted tools, QuillBot and ChatGTP, to help edit this manuscript, including grammar correction, language polishing, and readability enhancement during the preparation of this manuscript.

Contributions

M. Christian: conceptualization, data curation, formal analysis, methodology, software, supervision, validation, writing-original draft, writing-review & editing.

S. Wibowo: data curation, methodology, software, validation, writing-review & editing.

Вклад авторов

М. Кристиан: разработка концепции, курирование данных, формальный анализ, разработка методологии, разработка программного обеспечения, научное руководство, валидация результатов, написание черновика рукописи, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

С. Вибово: курирование данных, разработка методологии, разработка программного обеспечения, валидация результатов, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

O. M. Muzammil: methodology, project administration, resources, validation, visualization, writing-original draft, writing-review & editing.

О. М. Музаммиль: разработка методологии, административное руководство исследовательским проектом, предоставление ресурсов, валидация результатов, визуализация, написание черновика рукописи, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

H. Yulita: investigation, project administration, resources, validation, visualization, writing-original draft, writing-review & editing.

Х. Юлита: проведение исследования, административное руководство исследовательским проектом, предоставление ресурсов, валидация результатов, визуализация, написание черновика рукописи, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

G. D. Rembulan: project administration, resources, validation, visualization, writing-original draft, writing-review & editing.

Г. Д. Рембулан: административное руководство исследовательским проектом, предоставление ресурсов, валидация результатов, визуализация, написание черновика рукописи, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

REFERENCES

1. Giampieri F., Mazzoni L., Cianciosi D. et al. Organic vs conventional plant-based foods: A review. *Food Chemistry*. 2022;383:132352. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132352
2. Meshram S., Mansor H.B., Adhikari T.B. Recent advances in organic agriculture: Innovations, challenges, and opportunities. *Frontiers in Plant Science*. 2026;16. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1681928
3. Knorr D. Organic agriculture and foods: Advancing process-product integrations. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024;64(23):8480-8492. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2200829
4. Abiri R., Rizan N., Balasundram S.K. et al. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*. 2023;9(12):e22601. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601
5. Christian M., Yulita H., Sugiyanto L.B. et al. *Proposing food safety standard operational procedures to determine the value-based selling of salted fish for small business sustainability: Evidence from Indonesia* // Hamdan A., Harraf A. (editors) Business Development via AI and Digitalization. Studies in Systems, Decision and Control, vol 537. Springer, Champ. 731-41. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62106-2_55
6. Krause H.M., Mäder P., Fliessbach A. et al. Organic cropping systems balance environmental impacts and agricultural production. *Scientific Reports*. 2024;14(1):25537. https://doi.org/10.1038/s41598-024-76776-1
7. Hema V.S.V., Manickavasagan A. Blockchain implementation for food safety in supply chain: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024;23(5):e70002. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70002
8. Purwanto E., Tannady H., Dwianika A. et al. Comparative machine learning models for predicting sustainable food purchase decisions using eco-labeling and green product perception analysis. *BIO Web of Conferences*. 2026;208. https://doi.org/10.1051/bioconf/202620801010
9. Baş M., Kahriman M., Çakir Biçer N. et al. Results from Türkiye: Which factors drive consumers to buy organic food? *Foods*. 2024;13(2):302. https://doi.org/10.3390/foods13020302
10. Moroșan E., Popovici V., Popescu I.A. et al. Perception, trust, and motivation in consumer behavior for organic food acquisition: An exploratory study. *Foods*. 2025;14(2):293. https://doi.org/10.3390/foods14020293
11. Wojciechowska-Solis J., Kowalska A., Bieniek M. et al. Comparison of the purchasing behaviour of Polish and United Kingdom consumers in the organic food market during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(3):1137. https://doi.org/10.3390/ijerph19031137

12. Rivera H.J.P., Barcellos-Paula L. Personal variables in attitude toward green purchase intention of organic products. *Foods*. 2024;13(2):213. https://doi.org/10.3390/foods13020213
13. Christian M., Gularso K., Rembulan G.D. et al. *Brackish water quality, product safety, and economic value: An empirical study of salted fish from the Jakarta Coast* // Jeon H.Y. (editor) Sustainable Development of Water and Environment. Cham: Springer Nature Switzerland. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76148-5_21
14. Le M.H., Nguyen P.M. Integrating the theory of planned behavior and the norm activation model to investigate organic food purchase intention: Evidence from Vietnam. *Sustainability*. 2022;14(2):816. https://doi.org/10.3390/su14020816
15. Bhutto M.Y., Khan M.A., Sun C. et al. Factors affecting repurchase intention of organic food among generation Z (Evidence from developing economy). *PLOS ONE*. 2023;18(3):e0281527. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281527
16. Qi X., Mou J., Meng C., Ploeger A. Factors influencing consumers' organic food continuous purchase intentions during the post-pandemic era: An empirical investigation in China. *Foods*. 2023;12(8):1700. https://doi.org/10.3390/foods12081700
17. Halicka E., Kaczorowska J., Rejman K. et al. Investigating the consumer choices of Gen Z: A sustainable food system perspective. *Nutrients*. 2025;17(3):419. https://doi.org/10.3390/nu17030419
18. Zheng G.W., Akter N., Siddik A.B. et al. Organic foods purchase behavior among Generation Y of Bangladesh: The moderation effect of trust and price consciousness. *Foods*. 2021;10(10):2272. https://doi.org/10.3390/foods10102272
19. Yang Q., Al Mamun A., Naznen F. et al. Modelling the significance of health values, beliefs and norms on the intention to consume and the consumption of organic foods. *Heliyon*. 2023;9(6):e16790. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16790
20. Liu Y., Wang P., Zhang M. et al. Bridging the intention–behavior gap in organic food consumption: Empirical evidence from China. *Foods*. 2024;13(14):2239. https://doi.org/10.3390/foods13142239
21. Madureira T., Nunes F., Veiga J. et al. Trends in organic food choices and consumption: Assessing the purchasing behaviour of consumers in Greece. *Foods*. 2025;14(3):362. https://doi.org/10.3390/foods14030362
22. Kabir M.R., Sohel M.S., Sifullah M.K. Explaining organic food continuance intention: Evidence of sustainable consumption in Bangladesh. *BMC Public Health*. 2025;25(1):3340. https://doi.org/10.1186/s12889-025-23724-x
23. Tewari A., Srivastava S., Gangwar D. et al. Young consumers' purchase intention toward organic food: Exploring the role of mindfulness. *British Food Journal*. 2021;124(1):78-98. https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2020-1162
24. Sadiq M., Adil M., Paul J. Organic food consumption and contextual factors: An attitude–behavior–context perspective. *Business Strategy and the Environment*. 2023;32(6). https://doi.org/10.1002/BSE.3306
25. Govaerts F., Ottar Olsen S. Consumers' values, attitudes and behaviours towards consuming seaweed food products: The effects of perceived naturalness, uniqueness, and behavioural control. *Food Research International*. 2023;165:112417. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112417
26. Pang S.M., Tan B.C., Lau T.C. Antecedents of consumers' purchase intention towards organic food: Integration of theory of planned behavior and protection motivation theory. *Sustainability*. 2021;13(9):5218. https://doi.org/10.3390/su13095218
27. Gundala R.R., Nawaz N., Harindranath R.M. et al. Does gender moderate the purchase intention of organic foods? Theory of reasoned action. *Heliyon*. 2022;8(9):e10478. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10478
28. Boobalan K., Nawaz N., Harindranath R.M. et al. Influence of altruistic motives on organic food purchase: Theory of planned behavior. *Sustainability*. 2021;13(11):e10478. https://doi.org/10.3390/su13116023
29. Kabir M.R., Islam S. Behavioural intention to purchase organic food: Bangladeshi consumers' perspective. *British Food Journal*. 2021;124(3). https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2021-0472
30. Shen X., Xu Q., Liu Q. Predicting sustainable food consumption across borders based on the theory of planned behavior: A meta-analytic structural equation model. *PLOS ONE*. 2022;17(11):e0275312. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275312

31. Wang J., Xue Y., Liu T. Consumer motivation for organic food consumption: Health consciousness or herd mentality. *Frontiers in Public Health*. 2023;10:1042535. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1042535
32. Abdullah Z., Putri K.Y.S., Raza S.H. et al. Contrariwise obesity through organic food consumption in Malaysia: A signaling theory perspective. *BMC Public Health*. 2022;22(1):99. https://doi.org/10.1186/s12889-021-12480-3
33. Müller-Pérez J., Acevedo-Duque Á., García-Salirrosas E.E. et al. Factors influencing healthy product consumer behavior: an integrated model of purchase intention. *Frontiers in Public Health*. 2025;13:1-14. https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1576427
34. Li Y., Shan B. Exploring the role of health consciousness and environmental awareness in purchase intentions for green-packaged organic foods: An extended TPB model. *Frontiers in Nutrition*. 2025;12:1528016. https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1528016
35. Escobar-Farfán M., García-Salirrosas E.E., Guerra-Velásquez M. et al. Psychological determinants of healthy food purchase intention: An integrative model based on health consciousness. *Nutrients*. 2025;17(4):1140. https://doi.org/10.3390/nu17071140
36. Sarstedt M., Ringle C.M., Hair J.F. *Partial least squares structural equation modeling* // Homburg C., Klarmann M., Vomberg A.E. (editors) Handbook of Market Research. Cham: Springer; 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_15-3
37. Hair J., Hult G.T.M., Ringle C. et al. *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. 3rd ed. 2022.
38. Ngo Q.H., Nguyen T.D., Phan N.B. Exploring green purchasing intentions and behaviours among Vietnamese Generation Z: A perspective from the theory of planned behaviour. *PLOS ONE*. 2025;20(5):e0323879. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323879
39. Lin J., Li T., Guo J. Factors influencing consumers' continuous purchase intention on fresh food e-commerce platforms: An organic foods-centric empirical investigation. *Electronic Commerce Research and Applications*. 2021;50. https://doi.org/10.1016/j.elerap.2021.101103
40. Hasan M.M., Al Amin M., Arefin M.S. et al. Green consumers' behavioral intention and loyalty to use mobile organic food delivery applications: The role of social supports, sustainability perceptions, and religious consciousness. *Environment, Development and Sustainability*. 2024;26(6):15953-16003. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03284-z
41. Oktaviani R.D., Naruetharadhol P., Padthar S. et al. Green consumer profiling and online shopping of imperfect foods: Extending UTAUT with web-based label quality for misshapen organic produce. *Foods*. 2024;13(9):1401. https://doi.org/10.3390/foods13091401
42. Li S., Jaharuddin N.S. Influences of background factors on consumers' purchase intention in China's organic food market: Assessing moderating role of word-of-mouth (WOM). *Cogent Business & Management*. 2021;8(1):1876296. https://doi.org/10.1080/23311975.2021.1876296
43. Wang J., Xu S., Zhang S. et al. Research on the impact of consumer experience satisfaction on green food repurchase intention. *Foods*. 2023;12(24):4510. https://doi.org/10.3390/foods12244510
44. Qi X., Ploeger A. Explaining Chinese consumers' green food purchase intentions during the COVID-19 Pandemic: An extended theory of planned behaviour. *Foods*. 2021;10(6):1200. https://doi.org/10.3390/foods10061200
45. Bulsara H.P., Trivedi M. Exploring the role of availability and willingness to pay premium in influencing smart city customers' purchase intentions for green food products. *Ecology of Food and Nutrition*. 2023;62(3–4):107-129. https://doi.org/10.1080/03670244.2023.2200942
46. Hagger M.S., Cheung M.W.L., Ajzen I. et al. Perceived behavioral control moderating effects in the theory of planned behavior: A meta-analysis. *Health Psychology*. 2022;41(2):155-167. https://doi.org/10.1037/hea0001153
47. Cavite H.J., Mankeb P., Suwanmaneepong S. Community enterprise consumers' intention to purchase organic rice in Thailand: The moderating role of product traceability knowledge. *British Food Journal*. 2021;124(4): 1124-1148. https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2021-0148
48. Lin X., Chang S.C., Chou T.H. et al. Consumers' intention to adopt blockchain food traceability technology towards organic food products. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(3):912. https://doi.org/10.3390/ijerph18030912

49. Thanki H., Shah S., Oza A. et al. Sustainable consumption: Will they buy it again? Factors influencing the intention to repurchase organic food grain. *Foods*. 2022;11(19):3046. https://doi.org/10.3390/foods11193046
50. Ali H., Li M., Hao Y. Purchasing behavior of organic food among Chinese University students. *Sustainability*. 2021;13(10):5464. https://doi.org/10.3390/su13105464
51. Wang C., Guo J., Huang W. et al. Health-driven mechanism of organic food consumption: A structural equation modelling approach. *Heliyon*. 2024;10(5):e27127. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27127
52. Tian H., Siddik A.B., Masukujjaman M. Factors affecting the repurchase intention of organic tea among millennial consumers: An empirical study. *Behavioral Sciences*. 2022;12(2):50. https://doi.org/10.3390/bs12020050
53. Cook B., Costa Leite J., Rayner M. et al. Consumer interaction with sustainability labelling on food products: A narrative literature review. *Nutrients*. 2023;15(17):3837. https://doi.org/10.3390/nu15173837
54. Christian M., Wibowo S., Yulita H. et al. Two phases of online food delivery app users' behavior in Greater Jakarta during the second year of the COVID-19 pandemic: Perceptions of food safety and hygiene. *Environmental Health Engineering and Management*. 2023;10(3):249-259. https://doi.org/10.34172/EHEM.2023.28

About the authors

Michael Christian –
Dr., Lecturer and researcher, Universitas Bunda Mulia, Jakarta, Indonesia
https://orcid.org/0000-0001-8892-5400
michaelchristianid@gmail.com

Suryo Wibowo –
Dr., Lecturer and researcher, Krida Wacana Christian University, Jakarta, Indonesia
https://orcid.org/0000-0001-7460-0250
suryowibowojkt@yahoo.com

Oktafalia Marisa Muzammil –
Lecturer and researcher, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia
https://orcid.org/0009-0004-8515-2640
oktafalia.marisa@binus.edu

Henilia Yulita –
Dr., Lecturer and researcher, Universitas Multimedia Nusantara, Tangerang, Indonesia
https://orcid.org/0000-0002-3782-2273
henilia.yulita@umn.ac.id

Glisina Dwinoor Rembulan –
Lecturer and researcher, Universitas Bunda Mulia, Jakarta, Indonesia
https://orcid.org/0000-0001-7983-1138
grembulan@bundamulia.ac.id

Сведения об авторах

Майкл Кристиан –
доктор, преподаватель и исследователь, Университет Бунда Мулиа, Джакарта, Индонезия
https://orcid.org/0000-0001-8892-5400
michaelchristianid@gmail.com

Сурьо Вибово –
доктор, преподаватель и исследователь, Христианский университет Крида Вачана, Джакарта, Индонезия
https://orcid.org/0000-0001-7460-0250
suryowibowojkt@yahoo.com

Октафалия Мариса Музаммиль –
преподаватель и исследователь, Университет Бина Нусантара, Джакарта, Индонезия
https://orcid.org/0009-0004-8515-2640
oktafalia.marisa@binus.edu

Хенилия Юлита –
доктор, преподаватель и исследователь, Университет Мультимедиа Нусантара, Тангеранг, Индонезия
https://orcid.org/0000-0002-3782-2273
henilia.yulita@umn.ac.id

Глисина Двинур Рембулан –
преподаватель и исследователь, Университет Бунда Мулиа, Джакарта, Индонезия
https://orcid.org/0000-0001-7983-1138
grembulan@bundamulia.ac.id

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-138

Study of activity antioxidant enzymes in several of maize genotypes

CORRESPONDENCE:
Nagham Majeed Al-Azawi
E-mail: nagham.m@coagri.uobaghdad.edu.iq

FOR CITATION:
Al-Azawi N.M. Study of activity antioxidant enzymes in several of maize genotypes. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):56-65. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-138

RECEIVED: 22.06.2026
REVISED: 20.08.2026
ACCEPTED: 26.08.2026
PUBLISHED ONLINE: 02.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Al-Azawi N.M.

N.M. Al-Azawi

University of Baghdad College of Agricultural Engineering, Sciences Baghdad, Iraq

ABSTRACT

INTRODUCTION. Iraq is suffering from severe drought, exacerbated by climate change. Genetic patterns and timing of planting are of critical importance to improve water use efficiency and sustainability of agricultural production.

MATERIALS AND METHODS. A field experiment was conducted at the Al-Jadriya field, Baghdad University, College of Agricultural Engineering Sciences. Six maize genotypes (G1-Agr183, G2-PAN466, G3-Ly55, G4-OH40, G5-Xq880, and G6-IK58) were planted on three dates (1 August, 7 August, and 15 August) during the fall season of 2023–2024. The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Leaf samples were analyzed in the laboratories of the Department of Field Crops, College of Agricultural Engineering Sciences. The least significant difference (LSD) test at the 0.05% probability level was used for mean comparisons, and statistical analysis was performed using the GenStat statistical software.

RESULTS. The results indicated that genotype G6 exhibited higher catalase (CAT) activity across all three planting dates, while genotype G2 showed higher peroxidase (POD) activity during the same period, suggesting superior adaptive efficiency of these two genotypes. Superoxide dismutase (SOD) activity also varied among genotypes, with the highest levels observed on D3 (third planting date) and D1 (first planting date) for G6, and on D2 (second planting date) for G5, indicating a response due to genotype × planting date (G × D) interaction. Regarding planting date, CAT activity was highest on D3, whereas POD and SOD activities peaked on D1, reflecting the influence of planting date on the regulation of the antioxidant defense system.

CONCLUSION. The results demonstrate that enzyme activity and maize response to planting dates vary significantly depending on genotype. Therefore, selecting an appropriate planting date is essential for optimizing crop growth under specific light, humidity, and temperature conditions.

KEYWORDS: *Zea mays* L., antioxidant enzymes, planting dates, genotype, enzyme activity, high temperature

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-138

Изучение активности антиоксидантных ферментов у различных генотипов кукурузы

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Нагам Маджид Хамид Аль-азауи
E-mail: nagham.m@coagri.uobaghdad.edu.iq

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Аль-азауи Н.М. Изучение активности антиоксидантных ферментов у различных генотипов кукурузы. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):56-65. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-138
EDN UVDLAZ

ПОСТУПИЛА: 22.06.2026
ДОРАБОТАНА: 20.08.2026
ПРИНЯТА: 26.08.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 02.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Н.М. Аль-азауи

Н.М. Аль-азауи

Университет Багдада, Колледж инженерных наук в сельском хозяйстве, Багдад, Ирак

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Ирак испытывает серьезный дефицит влаги, усугубляемый изменением климата. Генетические особенности и сроки посева имеют решающее значение для повышения эффективности использования воды и устойчивости сельскохозяйственного производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Полевой опыт был проведен на опытном поле Аль-Джадрия при Багдадском университете, Колледж инженерных наук в сельском хозяйстве. Шесть генотипов кукурузы (G1-Agr183, G2-PAN466, G3-Ly55, G4-OH40, G5-Xq880 и G6-IK58) высевали в три срока (1 августа, 7 августа и 15 августа) в осенний сезон 2023/2024 гг. Опыт закладывали по схеме рандомизированных полных блоков в трехкратной повторности. Образцы листьев анализировали в лабораториях кафедры полевых культур Колледжа инженерных наук в сельском хозяйстве. Для сравнения средних значений использовали тест наименьшей существенной разности при уровне вероятности 0,05 %, статистическую обработку данных выполняли с помощью программы GenStat.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Результаты показали, что генотип G6 характеризовался более высокой активностью каталазы во все три срока посева, тогда как генотип G2 проявлял повышенную активность пероксидазы в те же периоды, что свидетельствует о высокой адаптивной эффективности этих двух генотипов. Активность супероксиддисмутазы (СОД) также различалась между генотипами: наибольшие значения отмечены у генотипа G6 в третий (D3) и первый (D1) сроки посева, а у генотипа G5 — во второй срок (D2), что указывает на зависимость ферментативного ответа от взаимодействия «генотип × срок посева». Что касается сроков посева, активность каталазы была максимальной в D3, тогда как активности пероксидазы и СОД достигали пика в D1, что отражает влияние срока посева на регуляцию эффективности антиоксидантной системы защиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты демонстрируют, что активность ферментов и реакция кукурузы на сроки посева существенно варьируют в зависимости от генотипа. Таким образом, выбор оптимального срока посева имеет важное значение для оптимизации роста культуры в конкретных условиях освещенности, влажности и температуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кукуруза *Zea mays* L., антиоксидантные ферменты, сроки посева, генотип, ферментативная активность, высокая температура

INTRODUCTION

Zea mays L. is the third most important cereal crop in the world after wheat and rice, due to its wide nutritional and economic importance [1]. Despite their high production capacity, they are classified as crops that are relatively sensitive to water stress, especially drought, which may negatively affect plant growth, development, and productive components [2]. Therefore, determining the appropriate planting date is an important agricultural procedure that should be taken into consideration, ensuring that the sensitive stages of plant growth are compatible with the appropriate environmental and climatic conditions, and reducing the crop's exposure to environmental stresses [3]. Early detection of the genetic behavior of varieties under different environmental conditions is of importance in determining the extent of response of varieties and selecting the best [4].

Global warming and increased temperatures and droughts, especially in Iraq, are taken as a serious risk to the growth of plants and productivity. Determining the appropriate planting date is at the forefront of the factors affecting the success of the production process, as it is directly linked to the different stages of plant growth, which are affected by the availability of appropriate environmental conditions, especially temperature, humidity, lighting intensity, and length of the light period.

Antioxidant enzymes are one of the most important components of the physiological defense system in *Zea mays* L. plants, as they play a pivotal role in maintaining oxidative balance and protecting cells from damage resulting from the accumulation of reactive oxygen species under conditions of environmental stress, especially drought and high temperatures. The variation in the efficacy and activity of SOD, CAT, and POD among *Zea mays* L. cultivars may reflect their different ability to cope with oxidative stress and adapt to adverse environmental conditions, making these enzymes important physiological indicators in assessing cultivar tolerance and selecting the most efficient cultivar under stress conditions.

The antioxidant activity is one of the first lines of defense against oxidation and it is important to maintain an optimal redox environment for oxidation and reduction [5]. It revealed that the efficiency of the antioxidant enzyme system differed significantly among the genotypes and the early planting date had a significant effect on peroxidase activity, whereas the late planting date had the highest activity in both superoxide dismutase and catalase. This is a pattern of very effective complementary gene-environmental interaction [6]. Under normal physiological conditions, NADPH oxides NOXES are one of the major producers of cellular ROS and are a current research interest, as they have a specific ROS-producing role [7]. CAT is a quaternary enzyme which plays an important role in the breakdown of hydrogen peroxide (H_2O_2) to water and oxygen in a highly efficient and effective manner.

The activity of the Catalase enzyme decreased significantly at high temperatures [8] and increased in Catalase enzyme activity during heat stress [9]. Oxidizing enzymes play an important role in plants' response to biotic and abiotic stress [10, 11]. Heat stress resulted in a reduction in the percentage of the enzymatic antioxidants including Catalase CAT, Peroxidase POD and Superoxidase dismutase SOD [12]. It has recently been demonstrated that O_2 accumulation contributes to activation of the superoxidase dismutase enzyme SOD, which neutralizes O_2 to H_2O_2 and is thus one of the antioxidant enzymes that are able to protect corn from oxidative damage, as well as roots [13, 14]. Under high temperature conditions, ROS formation is increased and enzymes like catalase are activated as a defense mechanism but in severe stress conditions enzymes' activity is disrupted [15]. The antioxidant enzymes are the first defense line against oxidative harm and it is essential to maintain the oxidation and reduction environment at the optimum level [16].

The enzyme superoxidase is less active at higher temperatures [11]. When no stress, contents of antioxidant enzymes are increased and must select a proper planting date [5]. Optimal condition for catalase enzyme activity was confirmed which is 37°C [17]. Heat stress can affect the response of oxidative stress enzymes to changes in planting dates [18]. This work focused on the importance of antioxidant enzymes to reduce the stress of plants with heavy metals [19]. The stress can affect the plants negatively impacting growth and yield [20].

This study aims to evaluate the response of several *Zea mays* L. varieties to different planting dates, and to determine the effect of different planting dates on the activity and effectiveness of some oxidative enzymes associated with the plant's response to environmental stresses. It also aims to detect variation between varieties in their ability to adapt to prevailing environmental conditions, and to identify varieties that are most efficient in responding to heat stress and drought, thus contributing to the selection of the best and most suitable varieties for cultivation under Iraq's environmental conditions, and promoting their use in breeding programs, genetic improvement, and sustainable crop production.

Average thermal degrees throughout the growing period (Figure 1) were obtained from the Iraqi weather monitoring agency (2023–2024).

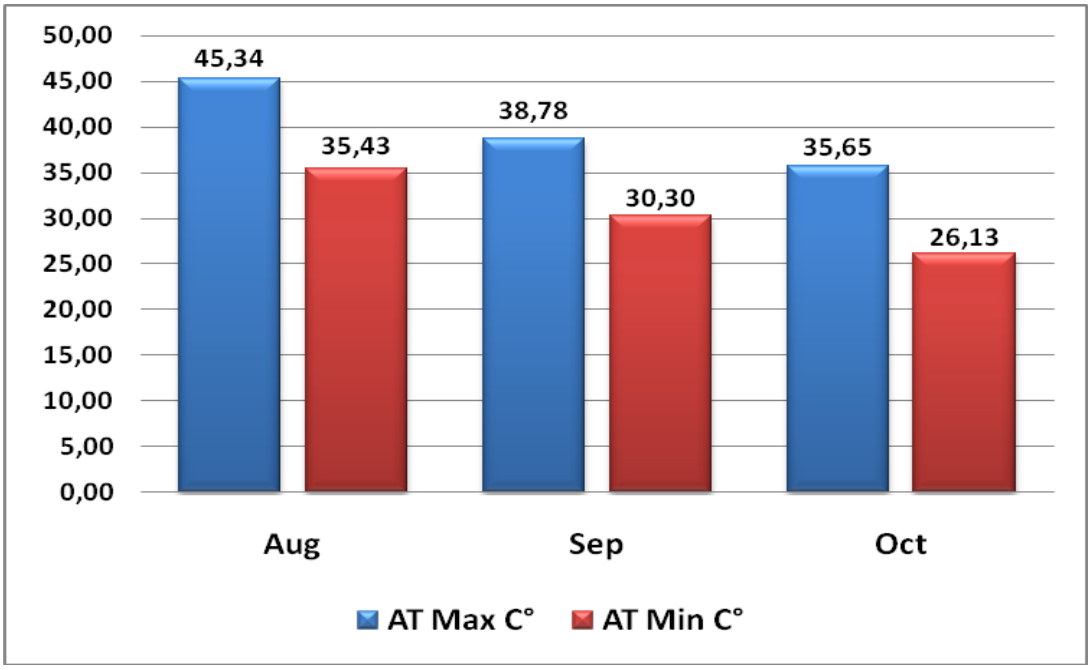


Figure 1
Average maximum (Max) and minimum (Min) temperatures in autumn 2023–2024

MATERIALS AND METHODS

A field experiment was performed in the autumn season (2023–2024) at the fields of Baghdad University College of Agricultural Engineering Sciences for six genotypes of maize (G1-Agr183, G2-PAN466, G3-Ly55, G4-OH40, G5-Xq880 and G6-IK58) on the following planting dates: 1 August, 7 August, and 15 August. A randomized complete block design (RCBD) was employed for the experiment with three replications. The mean squares were calculated using the least significant difference (LSD) 0.05% test was used to compare the GenStat statistical program used for data analysis. Average thermal degrees throughout the growing period were obtained from the Iraqi weather monitoring agency (2023–2024).

Determination of enzyme activity

At the flowering stage, 10 mL of phosphate buffer (KH_2PO_4, pH 7.8) was added to each frozen leaf sample (stored at −25 °C). To estimate enzyme activity, the following enzymes were assayed using a spectrophotometer:

– Determination catalase enzyme activity (CAT)

Enzyme activity was determined in accordance with the experimental method [21].

$$Enzym\ activity\ CAT\ \left(U\backslash mg\ protein\right) = \frac{\Delta\ reading\ \backslash\Delta\ t}{0.1 \times 0.01 \times protein\ concentation},$$

where Δ *reading* – change in absorbance/reading;
Δ *t* – time interval (usually in minutes);
0.1 – volume of enzyme/sample used;
0.01 – path length/correction factor as specified by the assay;
protein concentration – protein concentration of the sample (usually mg/mL).

– Determination of peroxidase enzyme activity (POD)

Peroxidase enzyme activity was estimated according to the method of [22].

$$Enzyme\ activity\ POD\left(\ U\backslash mg\ protein\right) = \frac{\Delta\ reading\ \ \backslash\Delta\ t}{0.1 \times 0.01 \times protein\ concentation}.$$

– Determination of superoxidase dismutase enzyme activity (SOD)

Enzyme activity was determined in accordance with the experimental method [23].

$$SOD\,(inhibition) = \frac{(A2B - A1B) - (A2S - A1S)}{(A2B - A1B)} \times 100,$$

where *A1B* – blank absorbance before lighting;
A2B – blank absorbance after lighting;
A1S – absorbance of the sample before lighting;
A2S – absorbance of the sample after lighting.

$$Enzyme\ activity\ SOD = \frac{sample\ inhibition}{highest\ inhibition} \times \frac{df}{Vs}(U\backslash mL)Measruing\ unit,$$

where *df* – dilution factor;
U – unit;
Vs – sample size.

RESULTS

Catalase enzyme (CAT)

The plant has a complicated redox defense system that responds to the excessive productivity of ROS and shields the plants from the injury caused by ROS, when their production surpasses the activity of antioxidant enzymes like catalase, which causes damage to essential components of the plant. As is observed from results in Figure 2, the highest average protein content across the three planting dates were obtained in G5 with protein content of 2.74, 2.51 and 2.18 unit.mg^{-1} protein for D3, D2, and D1 respectively. The genotype G4 recorded the maximum 2.27 average protein content in D3, G2 genotype recorded the minimum 1.12 average protein in D2 and G1 recorded the minimum 1.19 average protein in D3 while G2 recorded the minimum 1.12 average protein in D2. The genotype G1 in planting date 1 August D1 had average 1.34 unit.mg^{-1} protein.

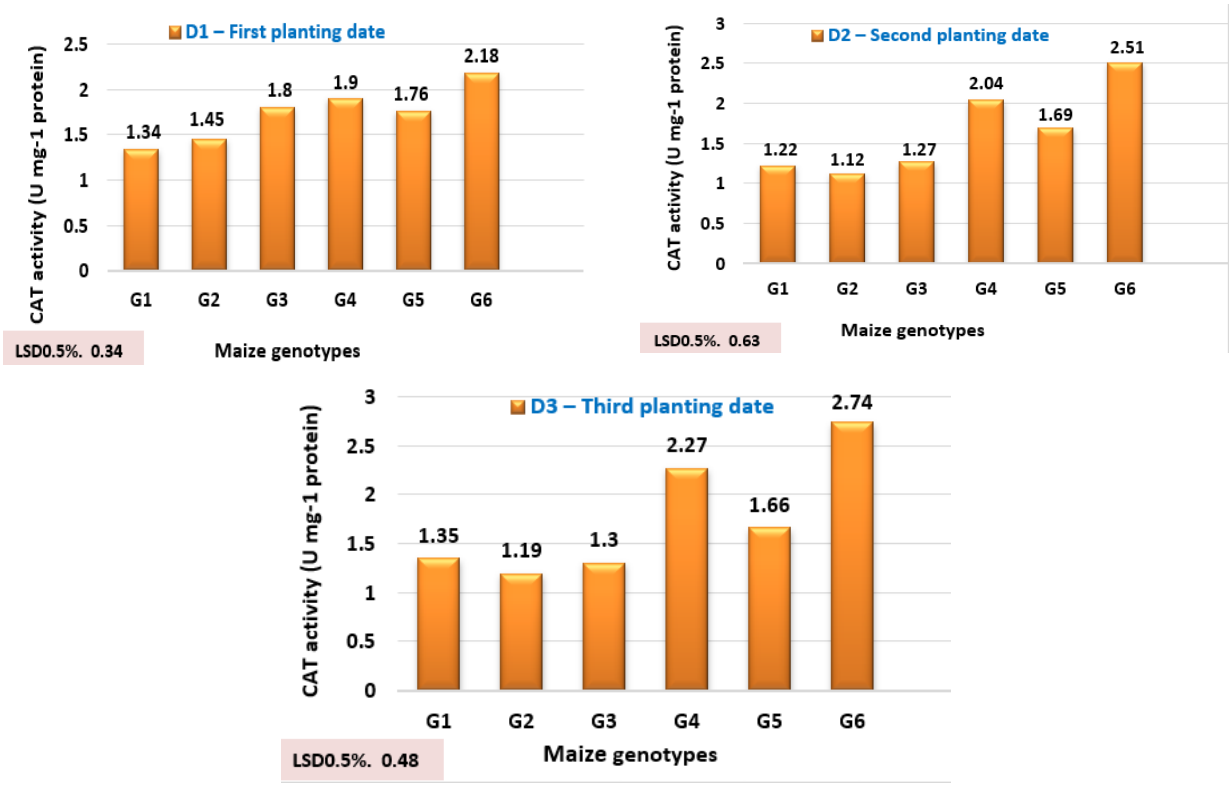


Figure 2
Effect of planting date on Catalase CAT enzyme activity unit.mg^{-1} protein for six genotypes of maize (G1-Agr183, G2-PAN466, G3-Ly55, G4-OH40, G5-Xq880, and G6-IK58) in autumn season 2023–2024

Figure 3 shows that the results differ significantly with regard to planting date: D3 (15 August) gives the highest average activity (1.8 unit mg^{-1} protein), followed by D1 (1 August) with 1.7 unit mg^{-1} protein, while D2 (7 August) gives the lowest average (1.6 unit mg^{-1} protein). The activity of Catalase enzyme decreased (inhibited) which contradicts the results of [26] that concluded with an increasing in Catalase activity with increasing temperature.

Peroxidase enzyme (POD)

The storage of reactive oxygen species ROS and the degree of membrane harm in the atom promotion in response conditions to high-temperature conditions [24]. According to [27] the variation in the enzymatic activity between genotypes is attributed to their genetic specificity. The data presented in Figure 4 reveal large genotype differences at all planting dates. G2 genotype had the highest average protein content in D3, D1, and D2 as 0.75, 0.74, and 0.72 unit.mg^{-1} protein, respectively. The G5 genotype had the highest average protein content on D1 0.63 unit.mg^{-1} protein, followed by G5 genotype on D2 0.58 unit.mg^{-1} protein and G3 genotype on D3 0.55 unit.mg^{-1} protein, while the genotype G4 had the lowest average protein content on D3, D2, and D1 0.35,0.36 and 0.45 unit.mg^{-1} protein respectively.

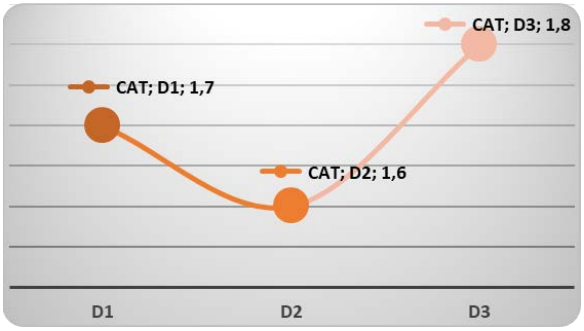


Figure 3
Means of Catalase CAT enzyme activity unit.mg^{-1} protein in three planting dates (1 August D1 first planting date, 7 August D2 second planting date, 15 August D3 third planting date) for six maize genotypes in the autumn season 2023–2024

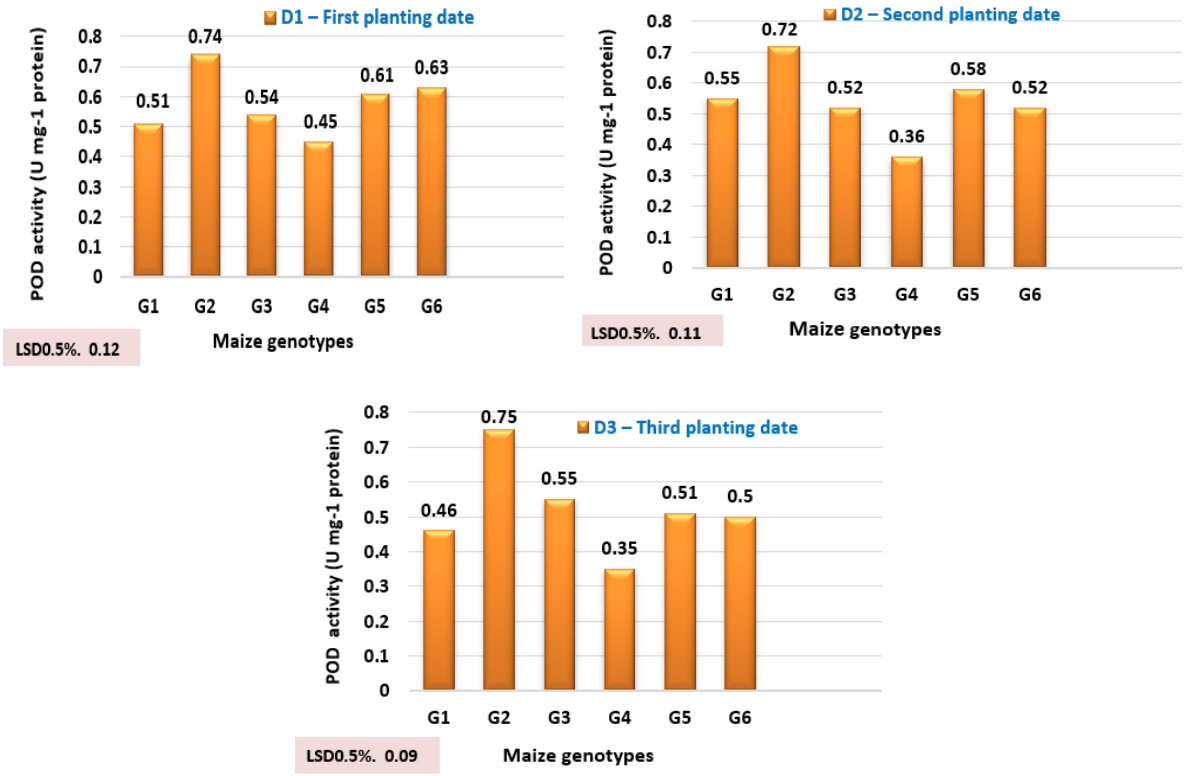


Figure 4
Effect of planting date on Peroxidase POD enzyme activity unit.mg^{-1} protein for six genotypes of maize (G1-Agr183, G2-PAN466, G3-Ly55, G4-OH40, G5-Xq880, and G6-IK58) in autumn season 2023–2024

As shown in Figure 5, high temperatures enhanced the activity of peroxidase enzyme as compared to heat stress with high average on 1 August in D1 with 0.6 unit.mg^{-1} protein, followed by 15 August D3 with an average of 0.52 unit.mg^{-1} protein, while the least average was observed on 7 August in D2 with 0.5 unit.mg^{-1} protein. The results illustrated in Figure 5 revealed that the highest average of enzyme activity was observed on 1 August in D1 with 0.6 unit.mg^{-1} protein, followed by 15 August in D3 with 0.52 unit.mg^{-1} protein, whereas the lowest average was seen on 7 August in D2 with 0.5 unit.mg^{-1} protein. According to [26], enzyme activity goes up as temperature goes up. The results of [11] showed that the values decreased when the temperature increased.

Superoxidase enzyme (SOD)

One of the first defense mechanisms against the superoxide ions O2 in the hydrogen peroxide form H_2O_2 and oxygen O_2 is the action of the superoxide dismutase enzyme [29]. This is because there can be natural resistance to heat stress which could have contributed to the lesser production of ROS mediated by heat stress [30]. Under heat stress situations, levels of ROS and membrane damage in the atom build up [24]. The difference in enzyme activity among genotypes is due to their genetic nature according to [27].

A significant difference between genotypes at each planting date is shown in Figure 6. G5 genotype got the highest average protein content of 64.25 and 55.68 unit.mg^{-1} respectively at D3 and D1. Genotype G5 showed the highest enzyme activity on D2 (51.8 unit.mg^{-1} protein), while genotype G1 had the lowest average enzyme activity across all planting dates, with values of 35.91, 36.12, and 45.91 unit.mg^{-1} protein for D3, D2, and D1, respectively.

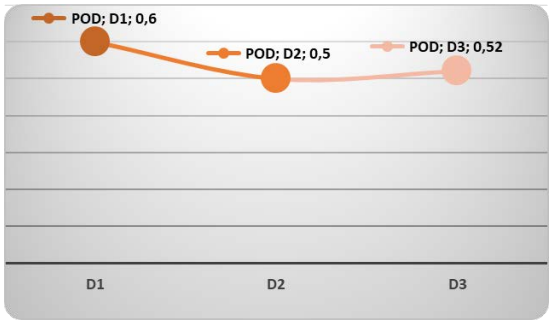


Figure 5
Means of Peroxidase POD enzyme activity unit.mg^{-1} protein in three planting dates (1 August D1 first planting date, 7 August D2 second planting date, 15 August D3 third planting date) for six maize genotypes in the autumn season 2023–2024

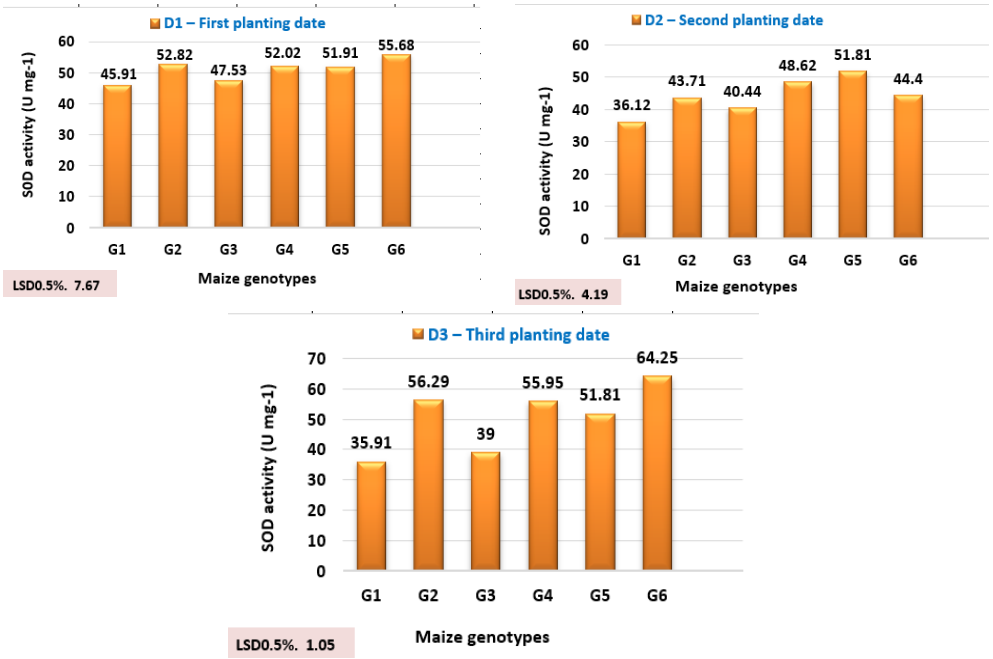


Figure 6
Effect of planting date on Superoxide dismutase (SOD) enzyme activity (unit.mg^{-1} protein) for six maize genotypes (G1-Agr183, G2-PAN466, G3-Ly55, G4-OH40, G5-Xq880, and G6-IK58) during the autumn season of 2023–2024

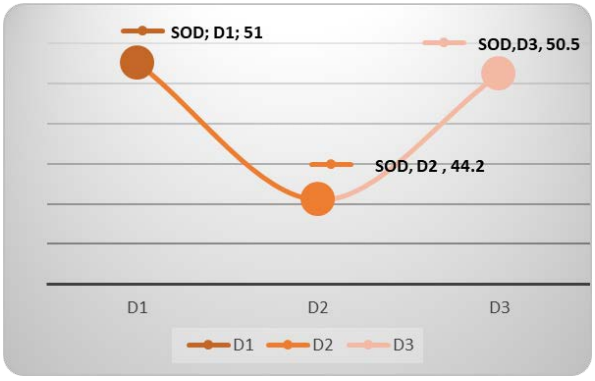


Figure 7
Means of superoxide dismutase SOD enzyme activity (unit.mg^{-1} protein) across three planting dates: D1 (1 August first planting date), D2 (7 August second planting date), and D3 (15 August third planting date) for six maize genotypes in the autumn season of 2023–2024

A variation was found within planting dates (Figure 7). When stressed, plants exhibit stimulation of their redox defense system which looks for Reactive Oxygen Species (ROS). The second date on 7 August showed the lowest average of 44.2 unit.mg^{-1} in D2. Redox defense system contributes to supporting plants to tolerate heat stress [31]. The enzyme activity was increased at lower temperatures, as shown in Figure 1. At high temperatures, the activity of SOD enzyme decreases which is confirmed by [6, 11].

DISCUSSION

The results obtained indicate that the antioxidant system enzyme activities such as CAT, POD and SOD enzyme significantly varied between the different genotypes due to the date of planting, which marked a difference during plant response to heat stress. This difference lies in the genetic efficiency in controlling ROS homeostasis and reducing the toxic effects of ROS on cellular components.

The G5 genotype demonstrated higher activities of CAT and SOD, indicating it is more capable of scavenging ROS and thus better able to withstand heat stress. Some genotypes, like G1 and G2, had lower enzyme activities, suggesting restricted adaptation to high temperatures and leading to high sensitivity to oxidative stress.

Another finding was that POD and SOD were more active at high temperatures linked with certain planting dates, suggesting an adaptive process responsible for removing hydrogen peroxide and free radicals. However, catalase showed a variable response, even inhibition under extreme heat stress, indicating greater sensitivity to heat than other enzymes.

These findings validate the efficiency of the antioxidant system, namely POD and SOD activities as important parameters for heat stress tolerance and highlight the importance of genetic differences in the adaptation of plants to harsh environmental conditions.

CONCLUSION

The results confirm the role of an efficient antioxidant system as a key factor in heat stress tolerance across different genotypes. This high activity of SOD and POD was correlated with efficient ROS scavenging and reduced oxidative damage. The G5 genotype had the highest overall enzyme activity and thus was more heat tolerant than the other genotypes. On the other hand, lower enzyme activity in some genotypes indicates reduced adaptability. In addition, the physiological response is dependent on planting dates, with temperature conditions influencing the activity of certain enzymes, such as catalase, under specific stress conditions.

REFERENCES

1. Fortunato S., Lasorella C., Dipierro N., Vita F., de Pinto M.C. Redox signaling in plant heat stress response. *Antioxidants*. 2023;12:605. https://doi.org/10.3390/antiox12030605
2. Al-Azawi N.M., Plyushchikov V.G, Gadzhikurbanov A. et al. Analysis of genetic parameters and estimation of oil and protein percentage by using full diallel cross in maize. *Plant Archives*. 2020;20(S1):3421-3425.

3. Kikakedimau N.R., Kongo Z.H., Mikodi M.A. et al. Gamma radiation effects (Cs^{137}) on the local variety culture of corn (Zea mays L.) under ecological conditions of Kenge. *European Journal of Agriculture and Food Sciences.* 2022;4(1):33-38. https://doi.org/10.24018/ejfood.2022.4.1.434
4. Alvi A.K., Aqeel S., Rafique T. et al. Screening of maize (*Zea mays* L.) genotypes for drought tolerance using photosynthetic pigments and anti-oxidative enzymes as selection criteria. *Pakistan Journal of Botany*. 2022;54(1). http://dx.doi.org/10.30848/PJB2022-1(1)
5. Mousavi A.K., Dadashi M.R., Kalat S.M.N. et al. The effect of planting date and irrigation regimes on yield and chlorophyll content, osmolytes and antioxidant enzymes in sweet corn (*Zea Mays* L. var saccarata). *Romanian Agricultural Research*. 2023;40:95-104. https://doi.org/10.59665/rar4009
6. Wahed S.A. and Al-Azawi N.M. 2023. Study of oxidative enzymes in many genotypes of (*Zea mays* L.). *Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection*. 2023;15(1),54-65. https://doi.org/10.28936/jmracpc15.1.2023.(5)
7. Hayyan M., Hashim M.A., Alnashef I.M. Superoxide Ion: Generation and Chemical Implications. *Chemical Reviews*. 2016;116:3029-3085. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00407
8. Scandalios J.G., Acevedo A., Ruzsa S. Catalase gene expression in response to chronic high temperature stress in maize. *Plant Science*. 2000;156(1):103-110. https://doi.org/10.1016/s0168-9452(00)00235-1
9. Singh I., Debnath S., Gautam A. et al. Characterization of contrasting genotypes reveals general physiological and molecular mechanisms of heat-stress adaptation in maize (*Zea mays* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2020;26(5):921-929. https://doi.org/10.1007/s12298-020-00801-6
10. Yuan H.M., Liu W.C., Lu Y.T. Catalase2 coordinates SA-mediated repression of both auxin accumulation and JA biosynthesis in plant defenses. *Cell Host & Microbe*. 2017;21(2):143-155. https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.01.007
11. Zhu X., Song F., Xu H. Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. *Mycorrhiza*. 2010;20(5):325-332. https://doi.org/10.1007/s00572-009-0285-7
12. Yang H., Huang T., Ding M. et al. High temperature during grain filling impacts on leaf senescence in waxy maize. *Agronomy Journal*. 2017;109(3):906-916. https://doi.org/10.2134/agronj2016.08.0452
13. Keyster M., Klein A., Ludidi N. Caspase-like enzymatic activity and the ascorbate-glutathione cycle participate in salt stress tolerance of maize conferred by exogenously applied nitric oxide. *Plant Signaling & Behavior*. 2012;7(3):349-360. https://doi.org/10.4161/psb.18967
14. Klein A., Keyster M., Ludidi N. Caffeic acid decreases salinity-induced root nodule superoxide radical accumulation and limits salinity-induced biomass reduction in soybean. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013;35(10):3059-3066. https://doi.org/10.1007/s11738-013-1339-1
15. Samat A.T., Soltabayeva A., Bekturova A., Zhanassova K., Auganova D., Masalimov Z., Srivastava S., Satkanov M., Kurmanbayeva A. Plant responses to heat stress and advances in mitigation strategies. *Frontiers in Plant Science*. 2025;6:1638213. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1638213
16. Fortunato S., Lasorella C., Dipierro N. et al. Redox signaling in plant heat stress response. *Antioxidants*. 2023;12(3):605. https://doi.org/10.3390/antiox12030605
17. Kumašin A., Mahmutovic L., Hromic-Jahjefendic A. Testing temperature and pH stability of the catalase enzyme in the presence of inhibitors. *Periodicals of engineering and natural sciences (PEN)*. 2022;10(2):18-29. https://doi.org/10.21533/pen.v10.i2.571
18. Guan L., Chen Y., Dong X. Impacts of high temperature and vapor pressure deficit on the maize opened spikelet ratio and pollen viability. *Agronomy*. 2024;14(11):2510. https://doi.org/10.3390/agronomy14112510
19. Jiang J., Zhang N., Srivastava A.K. et al. Superoxide dismutase positively regulates Cu/Zn toxicity tolerance in sorghum bicolor by interacting with Cu chaperone for superoxide dismutase. *Journal of Hazardous Materials*. 2024;480:135828. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135828
20. Rabbani B., Safdary A. Effect of Sowing date and plant density on yield and yield components of three maize (*Zea mays* L.) genotypes in Takhar climatic conditions of Afghanistan. *Central Asian Journal of Plant Science and Innovation*. 2021;(2):109-120. https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.02.06
21. Aebi H. Catalase in Vitro. *Methods in Enzymology*. 1984;105:121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

22. Nezih M. The peroxidase enzyme activity of some vegetables and its resistance to heat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1985;36(9):877-880. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740360918
23. Beyer W.F., Fridovich I. Assaying for superoxide dismutase activity: Some large consequence of minor change in conditions. *Analytical Biochemistry*. 1987;161:559-566. https://doi.org/10.1016/0003-2697(87)90489-1
24. Hussain H.A., Men S., Hussain S. et al. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*. 2019;9(1):1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7
25. Yin H., Chen Q., Yi M. Effects of short-term heat stress on oxidative damage and responses of antioxidant system in Lilium longiflorum. *Plant Growth Regulation*. 2008;54(1):45-54. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9227-6
26. Kumar S., Gupta D., Nayyar H. Comparative response of maize and rice genotypes to heat stress: status of oxidative stress and antioxidants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2012;34(1):75-86. https://doi.org/10.1007/s11738-011-0806-9
27. Chakraborty U., Pradhan D. High temperature-induced oxidative stress in Lens culinaris, role of antioxidants and amelioration of stress by chemical pre-treatments. *Journal of Plant Interactions*. 2011;6(1):43-52. https://doi.org/10.1080/17429145.2010.513484
28. Doğru A. Effects of heat stress on photosystem II activity and antioxidant enzymes in two maize cultivars. *Planta*. 2021;253(4):85. https://doi.org/10.1007/s00425-021-03611-6
29. Hussain I., Ashraf M.A., Rasheed R., Iqbal M., Ibrahim M., Ashraf S. Heat shock increases oxidative stress to modulate growth and physico-chemical attributes in diverse maize cultivars. *International Agrophysics*. 2016;30(4):519-531. https://doi.org/10.1515/intag-2016-0023
30. Ranjeet R.K., Sharma S.K., Rai G.K. et al. Exogenous application of Putrescine at pre-anthesis enhances the thermotolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*. 2014;51(5):396-406.
31. Yadav S.K., Vanaja M., Maheswari M. Exogenous Application of Bio-Regulators for Alleviation of Heat Stress in Seedlings of Maize. *Journal of Agricultural Research*. 2017;2(3). https://doi.org/10.23880/OAJAR-16000137

About the author

Nagham Majeed Al-Azawi —
PhD, Assist. Prof. in Plant Genetics, Department of Field Crops Sciences, College of Agricultural Engineering Sciences, University of Baghdad, Baghdad, Iraq

https://orcid.org/0000-0001-8991-3305

nagham.m@coagri.uobaghdad.edu.iq

Сведения об авторе

Нагам Маджид Хамид Аль-азауи —
PhD, старший преподаватель генетики растений, кафедра полевых культур, Колледж инженерных наук в сельском хозяйстве, Багдадский университет, Багдад, Ирак

https://orcid.org/0000-0001-8991-3305

nagham.m@coagri.uobaghdad.edu.iq

Исследовательская статья

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117

Оценка пластичности и стабильности сортов озимого ячменя в агробиоценозе Кабардино-Балкарии

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Малкандуева Аминат Хамидовна
E-mail: malkandyewaax@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Малкандуева А.Х., Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Кашукоев М.В., Базгиев М.А., Бадургова К.Ш. Оценка пластичности и стабильности сортов озимого ячменя в агробиоценозе Кабардино-Балкарии. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):66-79. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117 EDN VJBNBF

ПОСТУПИЛА: 27.04.2026
ДОРАБОТАНА: 30.07.2026
ПРИНЯТА: 13.08.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 09.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Малкандуева А.Х., Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Кашукоев М.В., Базгиев М.А., Бадургова К.Ш.

А.Х. Малкандуева [1], Х.А. Малкандуев [1], Р.И. Шамурзаев [1], М.В. Кашукоев [2], М.А. Базгиев [3], К.Ш. Бадургова [3]

[1] Институт сельского хозяйства — филиал Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия

[2] Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия им. В. М. Кокова, Нальчик, Россия

[3] Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Сунжа, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях усиливающейся климатической нестабильности юга России, характеризующейся ростом засушливости и температурных аномалий, возникает необходимость возделывания сортов озимого ячменя с высокой адаптивностью. Для степной зоны Кабардино-Балкарской Республики, где эта культура занимает значительные площади, актуальна селекция и интродукция сортов, характеризующихся высокой адаптивностью к абиотическим стрессовым факторам среды.

ЦЕЛЬ. Изучить адаптивность сортов озимого ячменя в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии для определения потенциала сортов и формирования научно обоснованных рекомендаций по выращиванию в регионе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Полевые опыты проводили в 2023–2025 гг. Материалом исследований были семь сортов озимого ячменя селекции Национального центра зерна имени П. П. Лукьяненко совместно с Институтом сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. Пластичность и стабильность сортов определяли по методу Эберхарта – Рассела, стрессоустойчивость и генетическую гибкость – по методике Гончаренко.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В 2025 году при оптимальных условиях (I_j = +0,72) урожайность сортов озимого ячменя варьировала от 6,3 до 8,1 т/га. Коэффициент линейной регрессии b_i > 1 отмечен у сортов Кладенец (1,47), Мир (1,52) и Инсар (1,21) — они пластичны и положительно отзываются на улучшение агрофона. Стабильными признаны Мадар ($\sigma^2 d$ = 0,002) и Вася (0,088). По стрессоустойчивости выделились Иосиф, Вася и Сатурн, а по генетической гибкости – Кладенец (6,65) и Инсар (6,55).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведенные исследования позволили идентифицировать сорта озимого ячменя, обладающие потенциалом для выращивания в условиях дефицита и нестабильной влагообеспеченности, демонстрирующие стабильно высокую урожайность независимо от климатических особенностей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: озимый ячмень, экологическая пластичность, стабильность урожайности, стрессоустойчивость сортов, адаптивный потенциал

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117

Evaluation of plasticity and stability in winter barley varieties in the agrobiocenosis of Kabardino-Balkaria

CORRESPONDENCE:
Aminat Kh. Malkandyeva
E-mail: malkandyewaax@mail.ru

FOR CITATION:
Malkanduyeva A.Kh., Malkanduyev Kh.A., Shamurzayev R.I., Kashukoyev M.V., Bazgiev M.A., Badurgova K.Sh. Evaluation of plasticity and stability in winter barley varieties in the agrobiocenosis of Kabardino-Balkaria. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):66-79. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-117

RECEIVED: 27.04.2026
REVISED: 30.07.2026
ACCEPTED: 13.08.2026
PUBLISHED ONLINE: 09.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Malkanduyeva A.Kh., Malkanduyev Kh.A., Shamurzayev R.I., Kashukoyev M.V., Bazgiev M.A., Badurgova K.Sh.

Aminat Kh. Malkanduyeva [1], Khamid A. Malkanduyev [1], Rustam I. Shamurzayev [1], Murat V. Kashukoyev [2], Magomed A. Bazgiev [3], Kulsum Sh. Badurgova [3]

[1] Institute of Agriculture — Branch of the Federal Scientific Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Nalchik, Russia

[2] Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia

[3] Ingush Research Institute of Agriculture, Sunzha, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Against the background of increasing climatic instability in southern Russia, characterized by growing aridity and temperature anomalies, there is a need to cultivate winter barley varieties with high adaptability. For the steppe zone of the Kabardino-Balkarian Republic, where this crop occupies significant areas, the breeding and introduction of varieties characterized by high adaptability to abiotic stress factors of the environment are relevant.

AIM. To study the adaptability of winter barley varieties under the steppe conditions of Kabardino-Balkaria in order to determine their potential and to formulate scientifically based recommendations for cultivation in the region.

MATERIALS AND METHODS. Field experiments were conducted during 2023–2025. The research material comprised seven winter barley varieties bred by the P. P. Lukyanenko National Grain Center in collaboration with the Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Plasticity and stability of the varieties were determined using the Eberhart–Russell method, while stress tolerance and genetic flexibility were assessed according to the Goncharenko procedure.

RESULTS. In 2025, under optimal conditions (I_j = +0.72), the yield of winter barley varieties ranged from 6.3 to 8.1 t/ha. A linear regression coefficient b_i > 1 was recorded for Kladenets (1.47), Mir (1.52), and Insar (1.21 indicating high plasticity and a positive response to improved agronomic background. Madar ($\sigma^2 d$ = 0.002) and Vasya (0.088) were recognized as stable. Iosif, Vasya, and Saturn stood out in terms of stress tolerance, while Kladenets (6.65) and Insar (6.55) — in terms of genetic flexibility.

CONCLUSION. The conducted studies made it possible to identify winter barley varieties with potential for cultivation under conditions of deficient and unstable moisture supply, demonstrating consistently high yields regardless of climatic features.

KEYWORDS: winter barley, ecological plasticity, yield stability, stress tolerance of varieties, adaptive potentialto reduce labor inputs, and incorporate bee pollination services into the state support system for the agricultural sector

ВВЕДЕНИЕ

В связи с растущей нестабильностью климата, угрожающей глобальной продовольственной безопасности, существует острая необходимость в выведении культур, устойчивых к его изменению. Современные научные исследования направлены на изучение сложных механизмов, лежащих в основе дефицита влаги у сельскохозяйственных растений [1; 2]. Прогнозируемые климатические изменения способны не только приостановить положительную динамику валовых сборов, но и вызвать падение урожайности. В связи с этим предполагается, что 79 % от общего сбора продукции будет обеспечено за счет повышения урожайности [3] сельскохозяйственных культур путем создания или отбора адаптивных генотипов. В течение многих лет пестициды и минеральные удобрения способствовали стабильному урожаю сельскохозяйственных культур, однако ожидается, что их использование будет ограничено из-за негативного воздействия на окружающую среду. Анализ исследований, проведенных за последние 50 лет в Китае, свидетельствует о том, что устойчивость сельского хозяйства и продовольственная безопасность страны сталкиваются с беспрецедентными вызовами из-за участившихся экстремальных климатических явлений, включая, в частности, экстремальные засухи последних лет в стране [4], что в дальнейшем повлечет снижение урожайности у сельскохозяйственных культур.

Ячмень, как одна из древнейших зерновых культур, широко распространен по всему миру благодаря своим ценным качествам, остается четвертой по распространенности культурой в мире и ценится за свою универсальность в солодовенном и пивоваренном производстве, кормах для животных, питании человека, пищевых добавках. В полузасушливых и засушливых регионах достижение стабильности урожая остается труднодостижимой целью. Часто сорта ячменя с хорошим потенциалом урожайности и качества не проявляют устойчивости к дефициту воды, поэтому крайне важно добиться генетических улучшений для создания сортов, устойчивых к изменению климата [5]. Понимание роли изменений окружающей среды в росте зерновых культур крайне важно для отбора генотипов с повышенной адаптивностью. По мнению ряда исследователей, условия окружающей среды оказывают сильное влияние на фенологическое развитие и урожайность зерна ячменя, в то время как признаки качества показывают относительно большую стабильность, что указывает на более сильный генетический материал [6; 7].

Абиотические стрессоры, связанные с изменением климата, такие как засуха, жара, засоление и дефицит питательных веществ, представляют серьезную угрозу для мирового сельского хозяйства, нарушая рост, развитие и размножение растений. Эти стрессы вносят существенный вклад в снижение урожайности как на региональном, так и на глобальном уровнях, тем самым подрывая продовольственную безопасность. Поэтому разработка стрессоустойчивых культур является важнейшей задачей, достижимой благодаря передовым селекционным стратегиям и интеграции новых технологий. Эффективное управление абиотическими стрессами требует всестороннего понимания лежащих в их основе физиологических, биохимических и экологических процессов [8]. По мере увеличения частоты засух выведение новых засухоустойчивых сортов зерновых культур может приобретать все большее значение. Однако сложно точно изучить комплексное воздействие засухи на признаки, связанные с урожайностью зерна, учитывая недостаточную информацию о влиянии дефицита влаги на рост и развитие озимого ячменя [9].

В этом контексте первостепенное значение имеет отбор генотипов со стабильным и высоким потенциалом урожайности в различных условиях, поскольку это может напрямую повысить продуктивность в регионах, подверженных климатическим изменениям [10]. Как считают Т. Оливото и др. [11], а также С. Рахмати и др. [12], анализ взаимодействия генотипа и окружающей среды (GEI) играет ключевую роль в любой селекционной программе, включающей разработку новых сортов для выращивания в различных условиях или в конкретном регионе. В своих исследованиях Б. Фантахун [13] изучал взаимодействие генотипа и окружающей среды и определил их роль в понимании стабильности с помощью современных статистических методов, которые помогли выявить генотипы ячменя, сочетающие желаемые и стабильные агрономические признаки.

По данным из Доклада Росгидромета, на территории России продолжается потепление, темпы которого намного превышают среднеглобальные. В регионах с переменчивыми природными условиями, такими как юг России (с его теплыми зимами, различными типами засух, переувлажнением и вариативным плодородием почв), способность сортов адаптироваться к этим факторам становит-

ся критически важной. Это позволяет более точно оценивать их экологическую пластичность и выявлять наиболее устойчивые сорта [14]. Учеными из Китая Ц. Цзян и др. [15] представлен предварительный результат селекционной работы по ячменю на период до 2035 года. В материлах проанализированы адаптация сортов ячменя к изменению климата, повышение урожайности и качества зерна, обозначены ключевые области для прорывов: геномные исследования, биоинформатика, создание новых сортов, изучение стрессоустойчивости и улучшение агрономических характеристик. По утверждению авторов, полученные данные могут быть использованы селекционерами при создании новых адаптивных сортов озимого ячменя для конкретных климатических условий. Х. Г. М. Д. Ахмед и др. [16] дали комплексную оценку генотипам ячменя с точки зрения их морфологии, физиологии и генетики для понимания механизма проявления климатической устойчивости в условиях водного дефицита (засухи). Такой подход позволил глубже разобраться в структуре, благодаря которой растения справляются со стрессом, и выявить перспективные образцы для дальнейшей селекции.

Ученые из Института сельского хозяйства (Карнобат, Болгария, 2024 г.) в своих исследованиях оценили взаимодействие генотипа и года для 20 образцов озимого ячменя в условиях юго-восточной Болгарии. Используя различные методы исследований, ими выявлены наиболее урожайные и стабильные по годам генотипы, демонстрирующие стабильно высокую урожайность и генетический ресурс для повышения урожайности зерна [17]. Агрометеорологический полевой эксперимент, проведенный в Берлине-Далеме (Германия, 2019–2022 гг.) А. Йигит и др. [18], с применением различных статистических программ показал, как изменчивость окружающей среды влияет на формирование урожайности озимого и ярового ячменя. По результатам опыта ими получены данные о слабой связи погоды и урожайности, что говорит о большой стабильности озимого ячменя. Для оценки влияния генотипа озимого ячменя и окружающей среды на показатели адаптивности, стабильности и урожайности в целях дальнейшего анализа показателей в условиях юга Эфиопии Ш. Дербеу и др. [19] в своих работах использовали регрессионные модели С. А. Эберхарт и др. [20]. Полученные данные свидетельствуют о влиянии окружающей среды на показатели адаптивности и урожайности сортов озимого ячменя.

Устойчивость сорта к стрессу — еще один показатель адаптивности, он характеризует его приспособленность к контрастному по метеорологическим условиям году. Чем меньше перепад между показателями максимальной и минимальной урожайности, тем выше стрессоустойчивость сорта, т. е. он более приспособлен к экстремальным факторам [21]. Генетическая гибкость сорта или компенсаторная способность отражает среднюю урожайность в контрастных условиях (стрессовых и не стрессовых), а высокие значения этого показателя указывают на большую степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды.

Климатические условия степной зоны Кабардино-Балкарии характеризуются ярко выраженной изменчивостью погодных условий в течение года. В период с 1961 по 2024 г. происходил рост среднегодовых температур со скоростью 0,37 °С /10 лет, из них в летний сезон на 0,48 °С/10 лет, осенний на 0,53 °С/10 лет, в зимний на 0,44 °С/10 лет и в весенний на 0,31 °С/10 лет. Из описания климатических условий степной зоны Кабардино-Балкарии следует, что наряду с благоприятными условиями зимовки возникают другие риски, связанные с потеплением, а именно — засухи и снижение увлажненности почвы [3]. Ежегодно в Кабардино-Балкарии возделывается около 20 сортов озимого ячменя, бóльшая часть которого размещается в степной зоне и занимает от 15 до 25 % озимого клина республики, поэтому акцент на внедрение адаптивных к стрессовым факторам среды генотипов представляет определенный интерес.

Целью исследований является выявление сортов, адаптивных к условиям дефицита влаги, характерного для степной зоны Кабардино-Балкарии, на основе показателей экологической пластичности, стабильности, стрессоустойчивости и генетической гибкости. В рамках исследования будет раскрыт потенциал сортов для дальнейшего использования при выращивании и в селекционных программах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследования проводили в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики (Терский район, с. Опытное) на экспериментальной базе Института сельского хозяйства — филиала федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук РАН» (ИСХ КБНЦ РАН) в 2022–2025 гг. Степная зона — зона неустойчивого

и недостаточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков в зоне составляет 360–480 мм, из них 289–300 мм приходится на вегетационный период.

Опыты закладывали с сортами озимого ячменя Мир, Кладенец, Сатурн, Вася и Иосиф, созданными в Национальном центре зерна им. П. П. Лукьяненко и совместно с ИСХ КБНЦ РАН – Мадар и Инсар.

Методы

При проведении исследований использовали Методику полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) *, Методику государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур **. Оценку почвенных образцов проводили по ГОСТ 26205–91 ***; ГОСТ 26213–91 ****; ГОСТ 26483–85 *****. Для определения экологической устойчивости сортов применена методика, разработанная С. А. Эберхарт и Б. А. Рассел (1966 г.). Данный подход базируется на вычислении коэффициента линейной регрессии b_i (экологической пластичности) и дисперсии $\sigma^2 d$ (экологической стабильности). Параметр экологической пластичности показывает реакцию сорта на улучшение условий возделывания. Он может принимать значение больше или меньше 1 либо равняться ей. Для расчета экологической пластичности вычисляли среднюю урожайность по сортам (Y_i) и по опыту (Y_j). Среднюю урожайность по опыту определяли по формуле

$$Y = \frac{\sum Y_{ij}}{v \times n}. \quad (1)$$

Для вычисления коэффициента линейной регрессии b_i (экологической пластичности) определяли индексы условий среды I_j по формуле

$$I_j = \frac{\sum Y_{ij}}{v} - \frac{\sum\sum Y_{ij}}{v \times n}, \quad (2)$$

где $\sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за определенный год;
$\sum\sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за весь период;
v – количество сортов;
n – количество лет.

Индекс условий среды отражает оптимальность условий возделывания для культуры в определенный период. Рассчитан коэффициент регрессии (b_i) для каждого сорта, который отражает его экологическую пластичность по формуле

$$b_i = \sum Y_{ij} I_j / \sum I_j^2, \quad (3)$$

где $\sum Y_{ij} I_j$ – сумма произведения урожайности сорта за год на соответствующую величину индекса условий среды;
$\sum I_j^2$ – сумма квадратов индексов условий среды.

Для определения стабильности урожайности вычисляем теоретическую урожайность каждого сорта по формуле

$$Y_{ij} = x_i + b_i \times I_j, \quad (4)$$

где x_i – средняя урожайность сорта за годы исследований;
$b_i \times I_j$ – произведение коэффициента регрессии сорта на индекс условий среды.

Отклонение фактической урожайности от теоретической вычисляли по формуле

$$\sigma_{ij} = Y_{ij} - x_i, \quad (5)$$

где Y_{ij} – фактическая урожайность сорта за определенный период;
x_i – теоретическая урожайность сорта за определенный год.

Коэффициент дисперсии (экологическая стабильность) определяли по формуле

$$\sigma d^2 = \Sigma \sigma_{ij}^2 / (n - 2), \quad (6)$$

где $\Sigma \sigma_{ij}^2$ – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической.

Уровень устойчивости сорта к стрессу ($Y_{\min} + Y_{\max}$) и генетическую гибкость (компенсаторная способность) генотипов (($Y_{\min} + Y_{\max}$)/2) вычисляли по формулам в изложении А. А. Гончаренко (2005 г.) [22].

---

* Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М., 2011. 350 с.

** Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Об. ч. М., 2019. 329 с.

*** ГОСТ 26205–91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М., 1992. 10 с.

**** ГОСТ 26213–91 Почвы. Методы определения органического вещества. Определение гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. М., 1992. 8 с.

***** ГОСТ 26483–85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М., 1992. 6 с.

Процедура исследования

Схема опыта включала делянки площадью 21 м^2, расположенные в 4-кратной повторности с систематическим размещением. Посев рядовым способом, сеялкой Клен – 1,5, по предшественнику горох на зерно; норма высева 3,5–4,0 млн всхожих семян на 1 га, сроки посева оптимальные для зоны, уборка комбайном Terrion-2010.

Анализ данных

Интерпретацию статистических данных в исследованиях проводили с использованием пакета приложений Microsoft Excel 2010 г.

Почвенно-климатические условия

Почва опытных участков представлена черноземом обыкновенным карбонатным. Содержание гумуса от 3,0 до 3,5 %, подвижного фосфора – 1,5–2,8 мг/100 г и обменного калия – 36–43 мг/100 г. Реакция почвы слабощелочная (pH – 7,6–8,0). Климатический режим в период исследований характеризовался изменчивостью, что позволило полнее оценить сорта озимого ячменя по показателям адаптивности к условиям возделывания и выделить лучшие из них (рисунки 1, 2).

В период 2022/2023 сельскохозяйственного года погодные условия были в целом благоприятными, с оптимальными температурными показателями на протяжении всего исследуемого периода. Зимние месяцы ознаменовались дефицитом осадков, составившим 50 % от установленной нормы. Март и апрель характеризовались достаточным уровнем влаги и температурами, превышающими среднегодовые значения на +4...+6 °С. В мае наблюдался незначительный дефицит осадков, а обильные ливни в июне (177 % от нормы) отрицательно сказались на урожайности. 2023/2024 сельскохозяйственный год отличался хорошим увлажнением в осенне-зимний период. В апреле и мае недобор осадков составил 22,5 %, но прошедшие дожди в июне (146 % от нормы) покрыли дефицит влаги, а оптимальный температурный режим позволил получить хороший урожай. В 2024/2025 сельскохозяйственном году отмечались обильные осадки в октябре и ноябре, 123 % от нормы, что способствовало появлению дружных всходов озимого ячменя. Положительная температура вместе с достаточной влагообеспеченностью позволили растениям благоприятно уйти в зиму, пройти период весеннего кущения, фазу выхода в трубку и колошения с оптимальным режимом, незначительно превосходящим климатическую норму, и, несмотря на дефицит влаги в мае и июне, этот период исследований характеризуется максимальной урожайностью озимого ячменя.

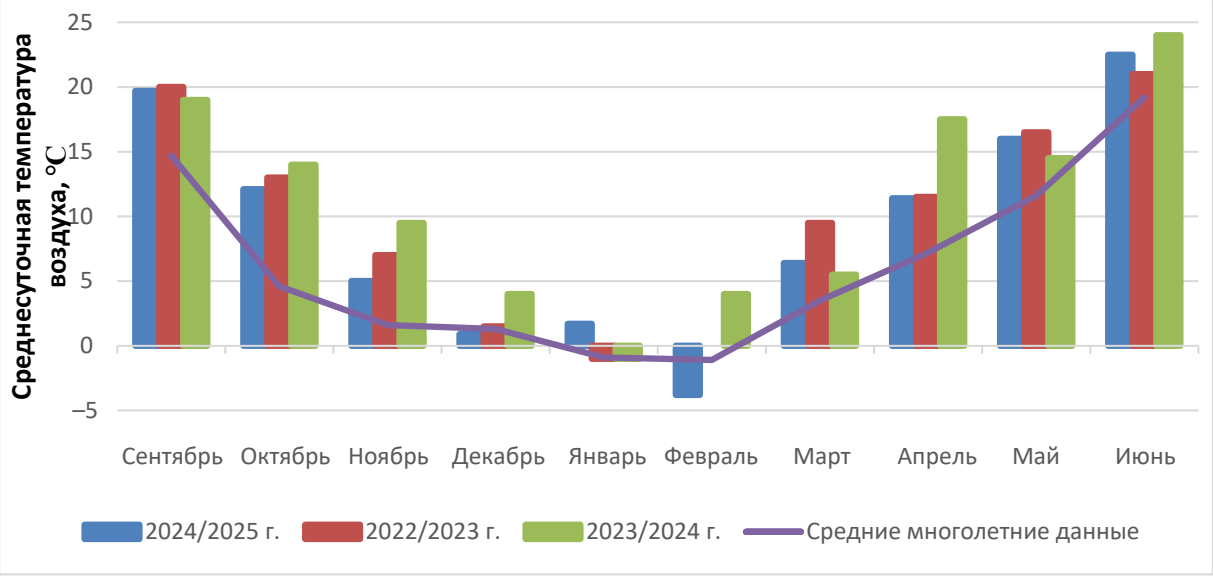


Рисунок 1
Среднесуточная температура воздуха, °С (по данным метеостанции ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2025 гг.)

Figure 1
Average daily air temperature, °C (according to the meteorological station of the Institute of Agriculture Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2022–2025)

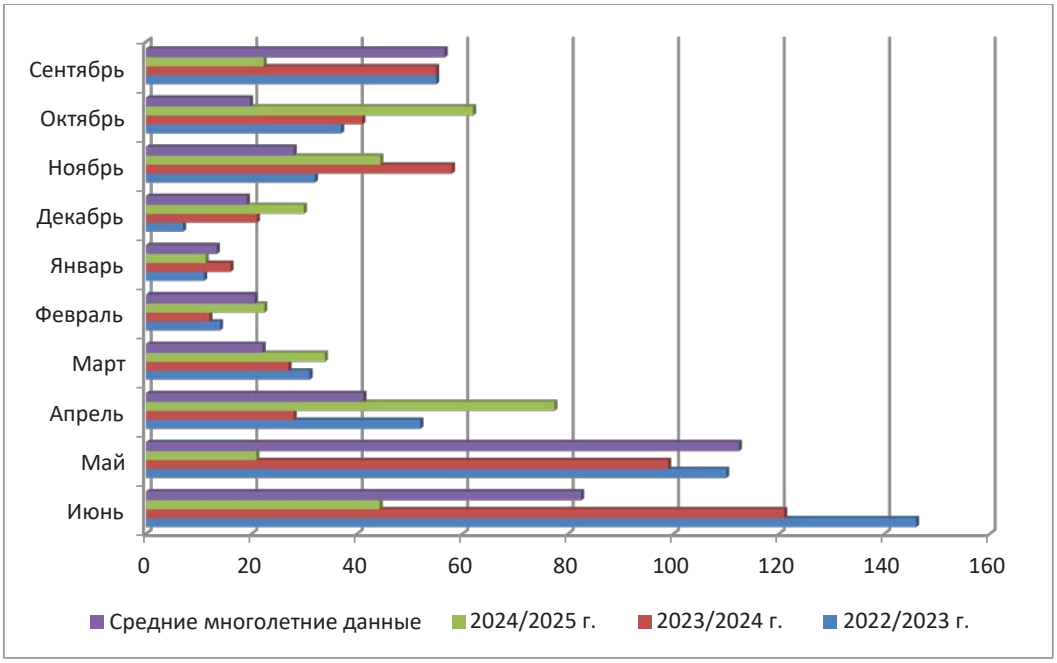


Рисунок 2
Сумма осадков, мм (по данным метеостанции ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2025 гг.)

Figure 2
Total precipitation, mm (according to data from the meteorological station of the Institute of Agriculture Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2022–2025)

Одновременно с этим экстремальная вариабельность климатических условий, значительно превышающая среднемноголетние показатели, создала идеальные условия для комплексной оценки потенциала сортов в отношении их стабильности, пластичности, стрессоустойчивости и генетической гибкости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка адаптивного потенциала новых сортов позволяет с высокой точностью прогнозировать продуктивность растений в стрессовых условиях, что способствует оптимизации производственных затрат. В частности, селекция озимого ячменя сегодня сфокусирована на создании экологически пластичных генотипов, сочетающих стабильную урожайность с повышенной устойчивостью к абиофакторам среды. В наших исследованиях оценивался вклад генотипа и среды в формирование урожайности. Анализ многолетних данных показал, что климатические факторы оказывают дифференцированное влияние на продуктивность исследуемых сортов. Определение вклада генотипа и среды в урожайность представлены в таблице 1.

Оптимальные условия для озимого ячменя сложились в 2025 году, при положительном значении индекса условий среды (I_j = +0,72) неблагоприятным оказался 2023 год, при отрицательном значении индекса (I_j = –0,83).

Коэффициент линейной регрессии (b_i) отражает отклик сорта на изменение агротехники, а дисперсия характеризует стабильность в различных условиях. Для каждого сорта установили коэффициент линейной регрессии (b_i), где варьирование по сортам составило 0,34–1,52. Это позволило разделить изучаемые сорта на более отзывчивые на изменение условий среды и слабо отзывчивые. Сорта с коэффициентом менее 1 (b_i < 1) отличаются слабой реакцией на изменения условий окружающей среды. Они способны формировать высокие урожаи в любых условиях, в том числе и при низком агрофоне. По результатам наших исследований к ним отнесены Иосиф, Сатурн, Вася. Коэффициент линейной регрессии более 1 (b_i > 1) получен у сортов Кладенец, Мир, Инсар, т. е. они более пластичны и положительно откликаются на улучшение условий возделывания. Критические погодные условия года, а также недостаточный агрофон у этих сортов снижает зерновую продуктивность. Высокая отзывчивость на улучшение условий выращивания отмечена в 2025 году у сортов Кладенец (7,8 т/га), Инсар (8,1 т/га), Мир (7,3 т/га), которая показывает динамическое изменение урожайности с учетом влияния природной среды на ее формирование. В аналогичных исследова-

ниях Т. Оливото и др. [11] получены данные об урожайности и стабильности генотипов овса в засушливых условиях жаркого субтропического климата, с равномерным распределением осадков от 100 до 170 мм в месяц. Согласно полученным ими результатам обнаружена вариабельность показателей урожайности в зависимости от года и условий окружающей среды. Результаты наших опытов подтверждаются исследованиями Н. В. Тетянникова и Н. А. Боме [14], в исследованиях которых установлены адаптивность, пластичность, стабильность и гомеостатичность урожайности двух подвидов ячменя, что позволяет рекомендовать эти показатели как наиболее информативные при отборе ценных форм для селекционных программ.

Для вычисления экологической стабильности по урожайности среди изучаемых генотипов была посчитана их теоретическая урожайность (таблица 2, рисунок 3).

Таблица 1
Оценка индекса условий среды и коэффициента линейной регрессии сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.)

Table 1
Assessment of the environmental conditions index and the linear regression coefficient of winter barley varieties (2023–2025)

Сорт	Урожайность, т/га			$\sum Y_i$*	Y_i*	b_i*
	2023 г.	2024 г.	2025 г.			
Мадар	4,73	5,71	6,25	16,69	5,56	0,99
Кладенец	5,46	6,32	7,83	19,61	6,54	1,47
Мир	5,13	7,63	7,32	20,08	6,69	1,52
Сатурн	5,38	6,66	6,32	18,36	6,12	0,67
Инсар	5,87	5,04	8,05	18,96	6,32	1,21
Вася	5,24	6,31	6,45	18,00	6,00	0,81
Иосиф	5,84	6,57	6,31	18,72	6,24	0,34
$\sum Y_j$*	37,65	44,24	48,53	130,42	4,47	—
Y_j*	5,38	6,32	6,93	18,63	6,21	—
I_j*	–0,83	0,11	0,72	—	—	—
$НСР_{05}$	0,19	0,23	0,17	—	—	—

Примечание: $\sum Y_i$* – сумма урожайности по сорту; Y_i* – средняя урожайность по сорту; b_i* – коэффициент линейной регрессии; $\sum Y_j$* – сумма урожайности по опыту; Y_j* – средняя урожайность по опыту; I_j* – индекс условий среды.

Note: $\sum Y_i$* is the sum of yields by variety; Y_i* is the average yield by variety; b_i* is the coefficient of linear regression; Y_j* is the sum of yields by experience; Y_j* is the average yield by experience; I_j* is the index of environmental conditions.

Таблица 2
Теоретическая урожайность сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.), т/га

Table 2
Theoretical yield of winter barley varieties (2023–2025), t/ha

Сорт	Теоретическая урожайность, т/га			Y_i* (ср.)
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	
Мадар	4,74	5,67	6,27	5,56
Кладенец	5,32	6,70	7,60	6,54
Мир	5,43	6,86	7,78	6,69
Сатурн	6,68	6,19	6,60	6,49
Инсар	5,32	6,45	7,19	6,32
Вася	5,33	6,09	6,58	6,00
Иосиф	5,96	6,28	6,48	6,24
$НСР_{05}$	0,16	0,22	0,25	—

Примечание: Y_i (ср.) * – средняя теоретическая урожайность по сорту.

Note: Y_i (avg.) * – average theoretical yield by variety.

Из представленных в таблице 2 данных видно, что в 2025 году, с максимально-положительным индексом условий среды, более высокая теоретическая урожайность получена у сортов Кладенец, Мир и Инсар (7,60; 7,78; 7,19 т/га).

Данные теоретической урожайности сортов позволили вычислить экологическую стабильность генотипов озимого ячменя в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения (таблица 3).

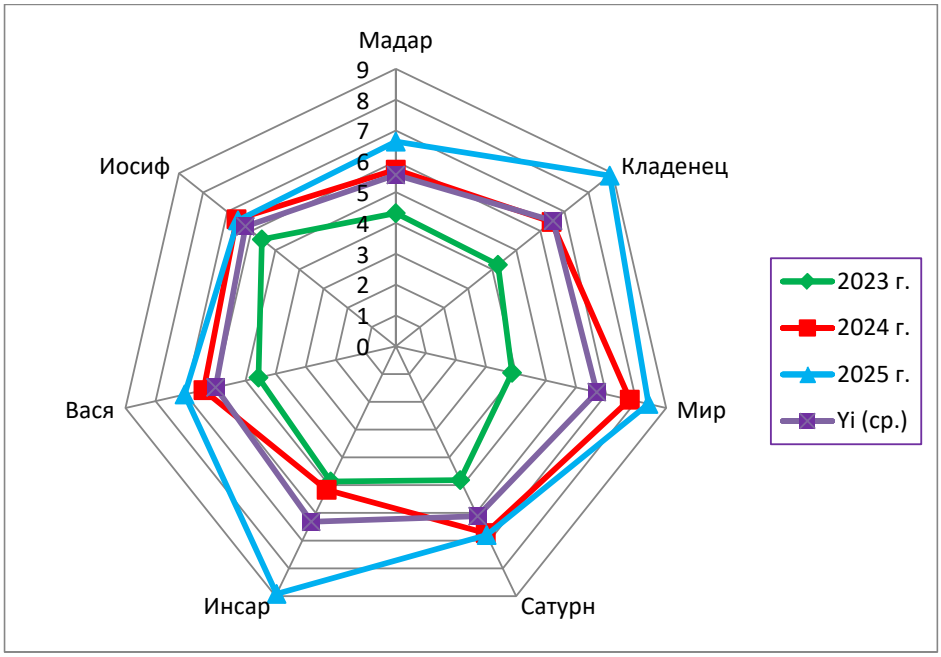


Рисунок 3
Теоретическая урожайность сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.), т/га

Figure 3
Theoretical yield of winter barley varieties (2023–2025), t/ha

Таблица 3
Стабильность урожайности сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.), т/га

Table 3
Yield stability of winter barley varieties (2023–2025), t/ha

Сорт	Отклонение фактической урожайности от теоретической, т/га			$\sum\sigma_{ij}^{2}$*	σ^2d*
	2023 г.	2024 г.	2025 г.		
Мадар	–0,01	0,04	–0,02	0,002	0,002
Кладенец	0,14	–0,38	0,23	0,220	0,220
Мир	–0,30	0,77	–0,46	0,890	0,890
Сатурн	–1,30	0,47	–0,28	1,990	1,990
Инсар	0,55	–1,41	0,86	3,030	3,030
Вася	–0,09	0,25	–0,13	0,088	0,088
Иосиф	–0,12	0,29	–0,17	0,127	0,127

Примечание: $\sum\sigma_{ij}^{2}$* – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической; σ^2d* – коэффициент стабильности.

Note: $\sum\sigma_{ij}^{2}$* is the sum of deviation squares of the actual yield from the theoretical one; σ^2d* is the stability coefficient.

Разность между фактической и теоретической урожайностью представляет собой показатель отклонения урожайности. Расчет экологической стабильности ($\sigma^2 d$) среди изучаемых генотипов озимого ячменя показал следующие результаты. Ранжирование по среднеквадратичному отклонению у сортов позволило выделить более стабильные из них по урожайности в различные по климатическим условиям периоды — Мадар ($\sigma^2 d$ = 0,002) и Вася ($\sigma^2 d$ = 0,088). Самыми нестабильными сортами следует считать Инсар ($\sigma^2 d$ = 3,03) и Сатурн ($\sigma^2 d$ = 1,99). Аналогичные исследования по изучению влияния условий среды и генотипа на стабильность и урожайность сортов озимого ячменя были проведены учеными Б. Дюльгеровой и др. [17] из Института сельского хозяйства (Карнобат, Болгария, 2024 г.). В своих опытах они оценили взаимодействие генотипа и года для 20 образцов озимого ячменя в условиях юго-восточной Болгарии. Различные методы исследований позволили им выявить наиболее урожайные и стабильные по годам генотипы, демонстрирующие стабильно высокую урожайность и генетический ресурс для повышения урожайности зерна.

Одним из главных показателей адаптивности и экологической пластичности сорта является устойчивость сорта к стрессору. Степень устойчивости сорта к неблагоприятным факторам определяется по разнице между минимальными и максимальными показателями урожайности ($Y_{min} - Y_{max}$). Чем ниже интервал между показателями минимальной и максимальной урожайности, тем выше стрессоустойчивость и выносливость сорта в неблагоприятных условиях. Генетическая гибкость, или компенсаторная способность ($Y_{max} + Y_{min}$)/2 отражает среднюю урожайность сорта в контрастных условиях. При определении адаптивного потенциала сортов озимого ячменя нами дана оценка их стрессоустойчивости и генетической гибкости (таблица 4).

Исследователями из различных научно-исследовательских учреждений Эфиопии (Дербё Ш., и др.) [19] дана оценка влияния взаимодействия генотипа и окружающей среды на урожайность ячменя на юге Эфиопии. По аналогии с нашими исследованиями в своей работе они использовали регрессионные модели, предложенные Эберхартом и Расселом [20], которые, по их мнению, могут быть использованы для поиска адаптивных, высокопродуктивных и стабильных генотипов ячменя. Ими даны рекомендации по 18 перспективным сортам озимого ячменя для широкого распространения в условиях юга Эфиопии.

Для изучения экологической адаптации, формирования урожая и устойчивости к абиотическим стрессам в Центре сельскохозяйственных исследований (HUN-REN ATK, Мартонвашар, Венгрия) было исследовано около 30 сортов озимого ячменя. Полученные результаты исследований свидетельствуют о снижении урожайности озимого ячменя на 44 % из-за влияния засухи. Результаты нашего эксперимента согласуются с выводами коллег из Венгрии. При этом отметим, что урожайность по причине влияния стресса в наших опытах уменьшилась на 12–37 %.

Ранжируя генотипы по стрессоустойчивости можно отметить, что у сортов Иосиф, Вася и Сатурн были зафиксированы минимальные отрицательные значения разности между минимальной и максимальной урожайностью, варьирующие в диапазоне от –0,73 до –1,28, т. е. они являются более стрессоустойчивыми.

Таблица 4
Оценка стрессоустойчивости и генетической гибкости сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.)

Table 4
Assessment of stress tolerance and genetic flexibility of winter barley varieties (2023–2025)

Сорт	Урожайность, т/га		Стрессоустойчивость, ($Y_{min} - Y_{max}$)	Генетическая гибкость сорта, ($Y_{max} + Y_{min}$)/2
	min	max		
Мадар	4,73	6,25	–1,52	5,49
Кладенец	5,46	7,83	–2,37	6,65
Мир	5,13	7,63	–2,50	6,38
Сатурн	5,38	6,66	–1,28	6,02
Инсар	5,04	8,05	–3,01	6,55
Вася	5,24	6,45	–1,21	5,85
Иосиф	5,84	6,57	–0,73	6,21

Кроме того, существует возможность оценки генетической гибкости сортов, которая характеризует их среднюю продуктивность в условиях выраженных контрастов. Увеличение данного параметра коррелирует с повышением показателя взаимодействия между фактором среды и конкретным сортом. Повышенные значения генетической гибкости были идентифицированы у сортов озимого ячменя Кладенец (6,65) и Инсар (6,55). В соответствии с задачами исследований выявлен потенциал 7 сортов озимого ячменя, из которых выделены способные формировать оптимальную урожайность в различные по климатическим условиям годы. В ходе исследований дана оценка их стрессоустойчивости и генетической гибкости. Согласно полученным результатам наиболее стрессоустойчивым сортом признан Иосиф (–0,73), так как имеет наименьший отрицательный показатель между минимальной и максимальной урожайностью, а генетически гибким — Кладенец (6,65), средняя урожайность которого является максимальной в контрастных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение реакции сортов озимого ячменя на условия окружающей среды показало, что в формировании урожайности имеют значение генотипы и показатели адаптивности. По результатам исследований стабильными сортами признаны Мадар (σ^2d = 0,002) и Вася (σ^2d = 0,088), у которых изменение условий среды не влияло на показатели урожайности. Сорта озимого ячменя Мир, Кладенец и Инсар, имеющие коэффициенты экологической пластичности b_i = 1,52; 1,47 и 1,21 соответственно, предпочтительно выращивать на интенсивном фоне с высоким уровнем агротехники. Сорт Иосиф реагировал слабее (b_i < 1) остальных сортов на улучшение условий среды и больше подходит для экстенсивного фона, способен формировать высокие урожаи в любых условиях, наиболее стрессоустойчив, так как имеет наименьший отрицательный показатель (–0,73) между минимальной и максимальной урожайностью.

По результатам оценки и анализа данных наблюдаются различия в реализации экологической пластичности и стабильности у сортов озимого ячменя. Полученные данные позволяют идентифицировать перспективный генетический материал, необходимый для селекционного совершенствования ячменя. Это создает научно обоснованную базу для выведения сортов, сочетающих высокую экологическую пластичность и стабильность урожайности в контексте глобальных климатических изменений.

Вклад авторов

А. Х. Малкандуева: проведение исследования, формальный анализ, написание черновика рукописи.

Х. А. Малкандуев: научное руководство, разработка методологии.

Р. И. Шамурзаев: проведение исследования, предоставление ресурсов, визуализация.

М. В. Кашукоев: курирование данных.

М. А. Базгиев: валидация результатов, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

К. Ш. Бадургова: визуализация.

Contributions

A. Kh. Malkandueva: investigation, formal analysis, writing – original draft.

Kh. A. Malkanduev: software, methodology.

R. I. Shamurzaev: investigation, resources, visualization.

M. V. Kashukoev: data curation.

M. A. Bazgiev: validation writing – review & editing.

K. Sh. Badurgova: visualization.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCE

1. OECD and FAO. 2023. OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Paris, OECD Available: https//openknowledge.fao.org/items/a4e5c326-37a7-43c7-9455-b35efb613827
2. Töpfer V., Matros A., Zaar A., et al. Impacts of early drought stress and plant-based biologicals on malting and feed barley quality. *Frontiers in Agronomy*. 2026;8:1786829. https://doi.org/10.3389/fagro.2026.1786829

3. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., и др. Влияние климатических факторов на условия производства сельскохозяйственной продукции в КБР. *Наука. Инновации. Технологии.* 2025;4:47-68. https://doi.org/10.34493/2308-4758.2025.4.2
Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., et al. The influence of climatic factors on the conditions of agricultural production in the Kabardino-Balkarian Republic. *Science. Innovation. Technologies.* 2025;4:47-68. (In Russ.) https://doi.org/10.34493/2308-4758.2025.4.2
4. Hao J., Wang Y., Guo Y., Liu M. Changes in extreme agro-climatic droughts and their impact on grain yield in rainfed agricultural regions of China over the past 50 years. *Atmosphere.* 2022;13:4. https://doi.org/10.3390/atmos13010004
5. Elakhdar A., Solanki Sh., Kubo T. et al. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;201(110):104965. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965
6. Vasilescu L., Petcu E.-I., Vasilescu V.S., et al. Phenotypic and agronomic evaluation of a winter barley genotype panel for breeding programs. *Agronomi.* 2026;16b:667. https://doi.org/10.3390/agronomy16060667
7. Ben Naser M., Sheikh-Mohamed H. The most relevant drought-tolerant indices for selecting barley drought-tolerant genotypes. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies.* 2024;1(5):15-23. https://doi.org/10.51753/flsrt.1362571
8. Begna T., Gichile H., Teressa T., et al. Crop cultivation under abiotic stress: management options and plant responses. *Ecological Genetics and Genomics.* 2026;38:100454. https://doi.org/10.1016/j.eGg.2026.100454
9. Berki Z., Kiss T., Bányai J., et al. Effect of drought stress during critical developmental stages on morphological and grain yield-related traits in winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *PLoS One*. 2025;20(7):e0329391. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0329391
10. Nataraj V., Gupta S., Singh K.H., et al. Envirotype-based delineation of environmental effects and genotype×environment interactions in Indian soybean (*Glycine max*, L.). *Scientific Reports.* 2024;14:11629. https://doi.org/10.1038/s41598-024-29025-2
11. Olivoto T., Lucio A. D., da Silva J. A., et al. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal.* 2019;111(6):2961-2969. https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221
12. Rahmati S., Azizi-Nezhad R., Pour-Aboughadareh A., et al. Analysis of genotype-by-environment interaction effect in barley genotypes using AMMI and GGE biplot methods. *Heliyon.* 2024;10(18):e38131. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38131
13. Fantahun B., Woldesemayat T. Multi-environment trial analysis on barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using AMMI, GGE biplot, and multi-trait stability index. *Heliyon*. 2026; 12(13):e45194. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2026.e45194
14. Тетянников Н.В., Боме Н.А. Анализ взаимодействия «генотип × среда» и оценка адаптивного потенциала ячменя в условиях Северного Зауралья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(3):63-73. https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-63-73
Tetyannikov N.V., Bome N.A. Analysis of the genotype × environ-ment interactions and assessment of the adaptability potential in barley under the conditions of the Northern Trans-Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2021;182(3):63-73. (In Russ.) https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-3-63-73
15. Jiang C., Kan J., Gao G., et al. Barley2035: A decadal vision for barley research and breeding. *Molecular Plant.* 2025;18:195-218. https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.12.009
16. Ahmed H.G.M.D., Yang J., Yang X., et al. Integrative morpho-physiological and genetic characterization of barley genotypes for climate resilience under water deficit conditions. *Applied Ecology and Environmental Research.* 2025;23(5):6011-6040. https://doi.org/10.15666/aeer/2303-60116040
17. Dyulgerova B., Dyulgerov N. Genotype-by-year interaction and simultaneous selection for grain yield and stability in winter barley. *Bulgarian Journal of Agricultural Science.* 2024;30(3):466-475.
18. Yi˘git, A., Chmielewski F.-M.A deeper insight into the yield formation of winter and spring barley in relation to weather and climate variability. *Agronomy.* 2024;14:1503. https://doi.org/10.3390/agronomy14071503

19. Derbeu Sh., Mekbib F., Lakev B., et al. AMMI and GGE biplot analysis for barley genotype yield performance and stability under multi environment condition in southern Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2024;7(3):e20565. https://doi.org/10.1002/agg2.20565
20. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. https://doi.org/10.2135/cropsci 1966.0011183x0006000010011x
21. Сотник А.Я. Оценка адаптивных свойств сортов ячменя по урожайности в Приобской лесостепи. *Письма в Вавиловский журнал Генетики и селекции.* 2025; 11(2):73-79. https://doi.org/10.18699/letvjgb-2025-11-11
Sotnik A.Ya. Evaluation of barley varieties adaptive properties by productivity in the Priobskaya forest-steppe zone. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii.* 2025;11(2):73-79. (In Russ.) https://doi.org/10.18699/letvjgb-2025-11-11
22. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. *Вестник российской академии сельскохозяйственных наук.* 2005;(5):49-53.
Goncharenko A.A. On adaptivity and ecological resistence of grain crop varieties. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences.* 2005;(5):49-53. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Малкандуева Аминат Хамидовна —
доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства колосовых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия
https://orcid.org/0000-0003-4306-3733
SPIN-код: 8561-7985
malkandyewaax@mail.ru

Малкандуев Хамид Алиевич —
доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства колосовых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия
https://orcid.org/0000-0003-4946-3818
SPIN-код: 7440-0942
malkandyewaax@mail.ru

Шамурзаев Рустам Ильясович —
кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и семеноводства колосовых культур, Институт сельского хозяйства – филиал Федерального научного центра «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Нальчик, Россия
https://orcid.org/0000-0002-0169-6826
SPIN-код: 9073-1194
tama8333@mail.ru

About the authors

Aminat Kh. Malkandyeva —
Dr. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Laboratory of Selection and Seed Production of Cereals, Institute of Agriculture – Branch of the Federal Scientific Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Nalchik, Russia
https://orcid.org/0000-0003-4306-3733
malkandyewaax@mail.ru

Khamid A. Malkandyev —
Dr. Sci. (Agric.), Chief Researcher, Laboratory of Selection and Seed Production of Cereal Crops, Institute of Agriculture – Branch of the Federal Scientific Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Nalchik, Russia
https://orcid.org/0000-0003-4946-3818
malkandyewaax@mail.ru

Rustam I. Shamurzaev —
Cand. Sci. (Agric.), Head, Laboratory of Selection and Seed Production of Cereals, Institute of Agriculture – Branch of the Federal Scientific Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Nalchik, Russia
https://orcid.org/0000-0002-0169-6826
tama8333@mail.ru

Кашукоев Мурат Владимирович —
доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Агрономия», Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия им. В. М. Кокова, Нальчик, Россия
https://orcid.org/0000-0003-2235-0477
SPIN-код: 6298-3409
mkashuoev@gmail.ru

Базгиев Магомед Алаудинович —
кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Сунжа, Россия
https://orcid.org/0000-0002-7529-6171
SPIN-код: 1632-1966
ishos06@mail.ru

Бадургова Кульсум Шоидовна —
кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора, Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Сунжа, Россия
https://orcid.org/0000-0002-8203-2481
SPIN-код: 6617-3675
kulsum1977@mail.ru

Murat V. Kashukoev —
Dr. Sci. (Agric.), Prof., Department of Agronomy, Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia
https://orcid.org/0000-0003-2235-0477
mkashuoev@gmail.ru

Magomed A. Bazgiev —
Cand. Sci. (Agric.), Director, Ingush Research Institute of Agriculture, Sunzha, Russia
https://orcid.org/0000-0002-7529-6171
ishos06@mail.ru

Kulsum Sh. Badurgova —
Cand. Sci. (Agric.), Deputy Director, Ingush Research Institute of Agriculture, Sunzha, Russia
https://orcid.org/0000-0002-8203-2481
kulsum1977@mail.ru

Исследовательская статья

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-122

Биохимический состав плодов кизила обыкновенного в природных популяциях Дагестана

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Лейла Ахмедовна Габибуллаева
E-mail: leila.amirova@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Габибуллаева Л.А., Балаева Ш.А. Биохимический состав плодов кизила обыкновенного в природных популяциях Дагестана. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):80-91. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-122 EDN VNLKBH

ПОСТУПИЛА: 19.05.2026
ДОРАБОТАНА: 18.08.2026
ПРИНЯТА: 26.08.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 30.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Габибуллаева Л.А., Балаева Ш.А.

Л.А. Габибуллаева [1], Ш.А. Балаева [2]

[1] Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, Махачкала, Россия

[2] Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Плоды кизила обыкновенного (*Cornus mas* L.) являются ценным пищевым и лекарственным сырьем. Однако их биохимический состав в зависимости от контрастных условий произрастания остается недостаточно изученным. Республика Дагестан, обладая выраженной высотной поясностью и разнообразием климатических зон, представляет особый интерес для оценки влияния экологических факторов на накопление биологически активных веществ в плодах дикорастущих популяций.

ЦЕЛЬ. Определить содержание основных групп биологически активных веществ в плодах кизила из пяти природных популяций Дагестана и выявить его зависимость от экологических факторов на высотном градиенте от –2 до 1030 м над уровнем моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ. Сбор плодов проводили в 2024–2025 гг. в предгорных районах Дагестана. Содержание влаги, золы, экстрактивных веществ, дубильных веществ, флавоноидов, антоцианов, органических кислот, аскорбиновой кислоты и углеводов определяли по методикам, приведенным в Государственной фармакопее Российской Федерации.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что содержание биологически активных веществ варьирует в широких пределах: органические кислоты – 2,1–3,1 %, витамин С – 5–12 мг/г, углеводы – 13,6–19,1 %, дубильные вещества – 1,7–4,6 %, флавоноиды – 4–10 мг/г, антоцианы – 1–5 мг/г. Содержание флавоноидов и аскорбиновой кислоты изменялось почти в 2 раза в зависимости от условий мест произрастания. Корреляционный анализ выявил положительные связи концентрации антоцианов (0,57) и органических кислот (0,69) с температурными показателями и отрицательные корреляции дубильных веществ с аскорбиновой кислотой (–0,56) и органическими кислотами (–0,60).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. При увеличении температурных показателей содержание флавоноидов и антоцианов возрастает, усиливая защитные механизмы клеток. Полученные данные свидетельствуют о высоком селекционном потенциале природных популяций кизила в Дагестане и могут быть использованы при отборе хозяйственно-ценных форм для интродукции в предгорных зонах Северного Кавказа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плоды кизила обыкновенного, спектрофотометрия, флавоноиды, антоцианы, дубильные вещества, углеводы, коэффициент корреляции

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-122

Biochemical composition of cornelian cherry fruits in natural populations of Dagestan

CORRESPONDENCE:
Leila A. Gabibullaeva
E-mail: leila.amirova@mail.ru

FOR CITATION:
Gabibullaeva L.A., Balayeva Sh.A. Biochemical composition of cornelian cherry fruits in natural populations of Dagestan. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):80-91. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-122

RECEIVED: 19.05.2026
REVISED: 18.08.2026
ACCEPTED: 26.08.2026
PUBLISHED ONLINE: 30.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Gabibullaeva L.A., Balayeva Sh.A.

Leila A. Gabibullaeva [1], Shamsiyat A. Balayeva [2]

[1] Dagestan Federal research center of the Russian Academy of sciences, Makhachkala, Russia

[2] Dagestan State University, Makhachkala, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits are valuable food and medicinal raw materials. However, their biochemical composition in relation to contrasting growing conditions remains insufficiently studied. The Republic of Dagestan, characterized by pronounced altitudinal zonation and diverse climatic zones, is of particular interest for assessing the influence of environmental factors on the accumulation of biologically active compounds in the fruits of wild populations.

AIM. To determine the content of the main groups of biologically active substances in the cornelian cherry fruits from five natural populations in Dagestan and to identify its dependence on environmental factors along an elevational gradient from –2 to 1030 m above sea level.

MATERIAL AND METHODS. Fruit sampling was carried out in 2024–2025 in the piedmont areas of Dagestan. The content of moisture, total ash, extractive substances, tannins, flavonoids, anthocyanins, organic acids, ascorbic acid, and carbohydrates was determined according to the methods specified in the State Pharmacopoeia of the Russian Federation.

RESULTS. The content of biologically active substances was found to vary within wide ranges: organic acids – 2.1–3.1%, vitamin C – 5–12 mg/g, carbohydrates – 13.6–19.1%, tannins – 1.7–4.6%, flavonoids – 4–10 mg/g, anthocyanins – 1–5 mg/g. The content of flavonoids and ascorbic acid varied almost twofold depending on the growing site conditions. Correlation analysis revealed positive relationships between the concentration of anthocyanins (0.57) and organic acids (0.69) with temperature indicators, as well as negative correlations between tannins and ascorbic acid (–0.56) and organic acids (–0.60).

CONCLUSION. An increase in temperature parameters is accompanied by a rise in the content of flavonoids and anthocyanins, thereby enhancing the protective mechanisms of cells. The obtained data indicate the high breeding potential of natural cornelian cherry populations in Dagestan and can be utilized for the selection of economically valuable forms for introduction in the piedmont zones of the North Caucasus.

KEYWORDS: cornelian cherry fruits, spectrophotometry, flavonoids, anthocyanin, tannins, carbohydrates, correlation coefficient

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы перспективным направлением современной медицины и фармации становится изучение пищевых растений. По данным современной нутрициологии, значительное место среди поливитаминных натуральных продуктов растительного происхождения принадлежит плодово-ягодным культурам. Химический состав плодово-ягодного сырья варьирует в зависимости от природно-климатических условий и факторов произрастания, которые изменяются год от года и не являются постоянными. В связи с увеличением темпов экономических затрат на разработку эффективных лекарственных средств во всем мире проводится поиск и получение новых перспективных природных соединений, менее подверженных воздействию климата, а также изучение традиционно и давно используемых природных биологически активных соединений (БАС) с целью расширения области их терапевтической значимости [1–4].

Одним из используемых пищевых растений, которые благодаря своему химическому составу и биологическим свойствам могут быть применены в медицинской практике, является кизил (*Cornus mas* L.) [5–10]. Кисло-сладкие плоды со своеобразным ароматом на протяжении столетий использовались в традиционной кухне и народной медицине в разных странах Европы и Азии. В коре кизила, его листьях и ягодах содержатся органические кислоты, танины, пектины, сахара, витамин С [11–14].

Химический состав плодов кизила нельзя считать полностью изученным, особенно с учетом того что исследования фитохимического состава плодов кизила в контрастных условиях произрастания ранее не проводились. Республика Дагестан, обладая выраженной высотной поясностью и разнообразием микроклиматических зон в предгорьях, представляет собой удобную природную модель для оценки влияния экологических факторов на количественное содержание биологически активных соединений и выявления зависимости их накопления от условий произрастания. Это определяет актуальность и новизну выполняемого нами исследования, целью которого была оценка содержания биологически активных веществ в плодах кизила обыкновенного из пяти природных популяций предгорных районов Республики Дагестан.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и условия проведения исследований

Республика Дагестан — самый южный регион России в составе Северо-Кавказского федерального округа, расположенный на побережье Каспийского моря. Территория отличается исключительным разнообразием природных зон — от прикаспийских низменностей до высокогорий Большого Кавказа, что создает уникальные условия для формирования дикорастущих популяций плодовых культур. Граница предгорной зоны Дагестана с приморской низменностью и северной равниной выражена очень заметно. Хребты предгорий большей частью резко подымаются тут крутыми склонами до высоты 500–600 и более метров над морем. Весь Предгорный Дагестан протягивается дугообразной полосой от западной до южной границы длиной 260 км и шириной от 20 до 40 км. Предгорный пояс представляет собой множество отдельных сводовых хребтов, идущих рядами параллельно и друг за другом. Между сводовыми поднятиями расположены широкие долины, низины и котловины. С удалением от моря высота хребтов постепенно увеличивается до 1000–1200 метров (над морем) [15]. Кизил обыкновенный издавна произрастает здесь в предгорьях и на равнинах, являясь ценным сырьевым ресурсом, изучение которого представляет интерес для аграрной науки и пищевой промышленности Северного Кавказа (рисунок 1).

Объектом исследования служили дикорастущие растения кизила обыкновенного (*Cornus mas* L.), произрастающие в пяти предгорных районах на территории Республики Дагестан (таблица 1). В качестве сырья использовали плоды кизила, которые были собраны в фазе созревания (середина сентября 2024 и 2025 гг.). Для каждого образца было собрано по 10 плодов с 30 учетных особей.

Биохимический состав плодов кизила, как и других плодово-ягодных культур, в значительной степени зависит от погодных условий периода их формирования и созревания, приходящегося на июнь – сентябрь [16].

Таблица 1
Характеристика мест произрастания

Table 1
Characteristics of the growing places

Место произрастания	Место сбора	Координаты
Образец № 1	Кизилюртовский район, окрестности с. Мацеевка, –2 м над уровнем моря	с. ш. 43.26666 в. д. 46.98333
Образец № 2	Магарамкентский район, окрестности Самурского леса, 8 м над уровнем моря	с. ш. 41.83538 в. д. 48.56560
Образец № 3	Казбековский район, окрестности с. Хубар, 866 м над уровнем моря	с. ш. 43.06157 в. д. 46.75121
Образец № 4	Сулейман-Стальский район, окрестности с. Кахцуг, 920 м над уровнем моря	с. ш. 41.58497 в. д. 48.05808
Образец № 5	Хивский район, окрестности с. Хив, 1030 м над уровнем моря	с. ш. 41.75218 в. д. 47.95074

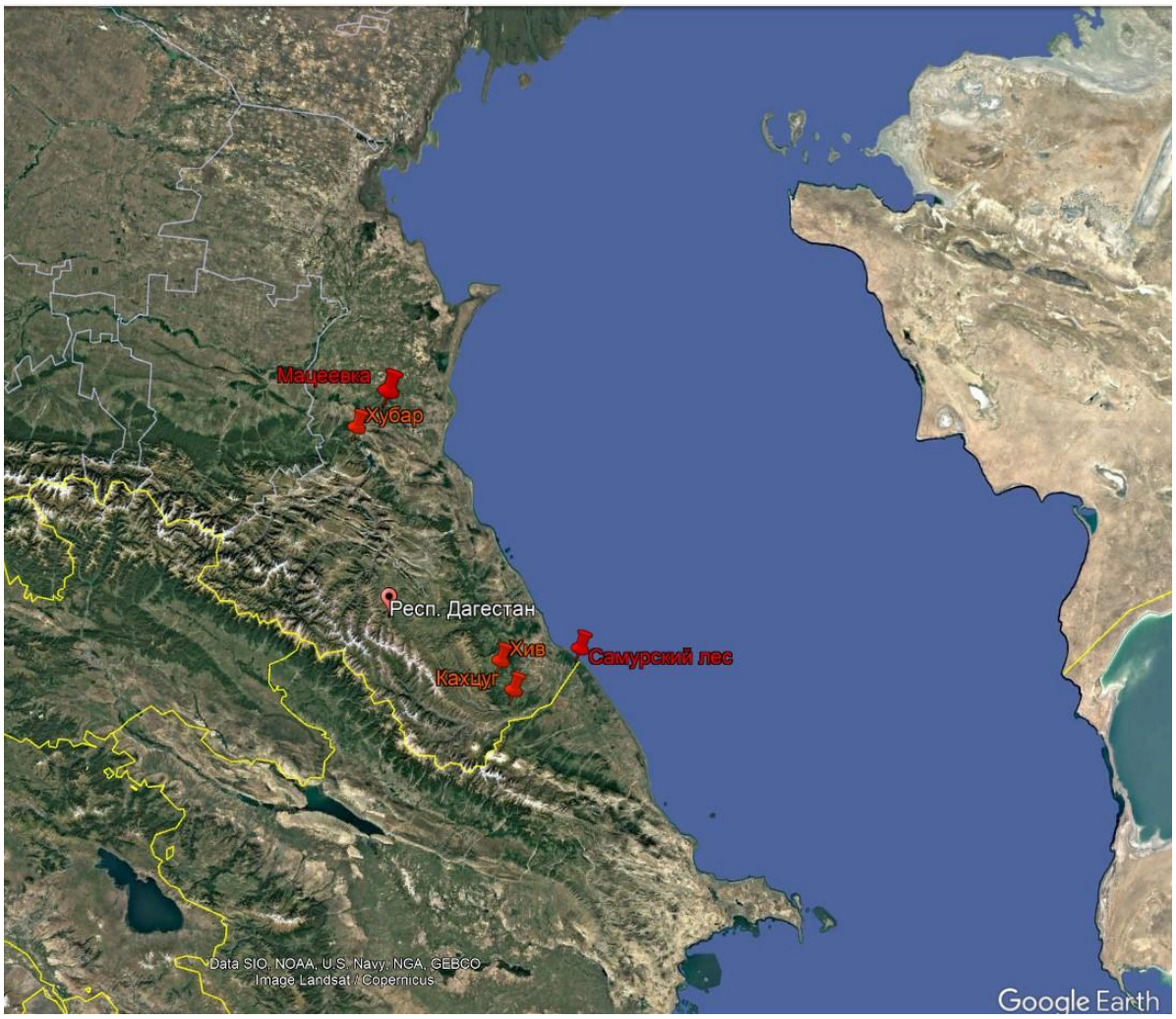


Рисунок 1
Точки сбора материала

Figure 1
Collection points

Климатические показатели мест произрастания кизила обыкновенного были загружены с веб-страницы CHELSA v.1.1. В окрестностях Самурского леса они характеризовались сравнительно высокими показателями среднегодовой температуры (13,25 °С). Средняя температура наиболее теплого месяца достигала 28,05 °С. Сравнительно высокими оказались параметры средней температуры наиболее сухого периода (23,85 °С). Средняя температура наиболее теплого периода (bio10) составляла 23,85 °С. Температура наиболее холодного периода (bio 11) не превышала 3,65 °С.

В окрестностях с. Мацеевка среднегодовая температура была сравнительно ниже и составляла 12,75 °С. Однако отмечены более высокие показатели максимальной температуры наиболее теплого месяца – 29,95 °С. Средняя температура наиболее влажного периода составляла 21,65 °С. Максимальными оказались также показатели средней температуры наиболее теплого периода (bio 10), достигающие 24,15 °С. Средняя температура наиболее холодного периода (bio 11) составляла 1,65 °С.

Среднегодовая температура в окрестностях с. Кахцуг за этот период составляла 8,65 °С. Максимальная температура наиболее теплого месяца достигала 24,25 °С. Средняя температура наиболее теплого периода (bio10) достигала 19,15 °С. Температура наиболее холодного периода (bio 11) составляла –2,05 °С.

Среднегодовая температура в окрестностях с. Хубар составляла 8,25 °С. Максимальная температура наиболее теплого месяца достигала 23,95 °С. Температура наиболее теплого периода (bio 10) составляла 18,85 °С. Температура наиболее холодного периода (bio 11) достигала –2,35 °С.

Климатические показатели в окрестностях с. Хив отличались сравнительно низкой среднегодовой температурой 6,95 °С. Средняя температура наиболее теплого периода (bio10) достигала 17,25 °С. Температура наиболее холодного периода (bio 11) составляла –3,65°С.

Методы

Числовые показатели (общая зола, влажность и экстрактивные вещества) плодов кизила определяли по методикам, приведенным в Государственной фармакопее (ГФ) РФ XIV издания. Влажность определяли методом высушивания до постоянной массы по методике, описанной в общей статье ГФ XI.

Определение содержания дубильных веществ в пересчете на танин осуществляли титриметрическим методом, в качестве индикатора использовали раствор индигосульфокислоты до появления золотистого окрашивания. Количественное определение дубильных веществ осуществляли в соответствии с ГФ РФ XIV «Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах». Содержание флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом при диапазоне длин волн 350–550 нм, основанным на взаимодействии с хлоридом алюминия и образовании окрашенного комплекса. В качестве стандартного образца (СО) использованы рутин, имп. CAS №207671-50-9. Максимум поглощения наблюдается при длине волны 400 нм, что соответствует рекомендациям ГФ для государственного стандартного образца рутина. При определении содержания антоцианов в плодах кизила использовали спиртовые экстракты, пересчет проводили для цианидин-3-О-глюкозида. В ходе определения максимума поглощения спектры снимали в диапазоне 550–750 нм. Полученный спектр соответствует данным ГФ и приходится на 610 нм. При определении суммы свободных органических кислот применяли титриметрический метод с использованием в качестве индикатора смеси фенолфталеина и метиленового синего в пересчете на яблочную кислоту. Аскорбиновую кислоту определяли титриметрическим методом (краска Тильманса). Определение суммарного содержания углеводов в плодах кизила обыкновенного проводили с использованием пикринового метода, поскольку возможно определение как свободных моносахаридов, так и полисахаридов после кислотного гидролиза. Для определения использовали спектрофотометрический метод и в качестве стандарта глюкозу. Оптические плотности растворов снимали на спектрофотометре «SPECORD 210 Plus BU» (Analytik Jena).

Полученные результаты подвергались статистической обработке согласно ГФ XI. Межпопуляционные различия оценивали при сравнении средних результатов трех определений. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием системы обработки данных Statistica v. 13.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важной характеристикой пищевого сырья являются числовые показатели, определяющие его технологические свойства и стабильность при хранении.

В таблице 2 приведены данные по влажности, содержанию общей золы и экстрактивных веществ в изученных образцах. Особый интерес представляет вариабельность экстрактивных веществ, отражающая суммарное накопление растворимых сухих компонентов.

Полученные значения влажности (78,4–82,1 %) согласуются с типичными для сочных плодов кизила показателями [17], однако разброс в 3,7 % между образцами указывает на дифференциацию популяций по водоудерживающей способности, что может быть связано с различиями в осмотическом давлении клеточного сока в условиях разной аридности климата. Содержание экстрактивных веществ, варьирующее от 66 до 98 % в зависимости от места сбора, отражает степень накопления растворимых сухих веществ (сахаров, органических кислот, фенольных соединений) и может служить интегральным показателем пищевой ценности сырья. Максимальное значение экстрактивных веществ у образца № 4 (98,3 %) позволяет предположить его повышенную биологическую ценность по сравнению с другими изученными популяциями.

Преобладающими фенольными соединениями в плодах являются дубильные вещества, где их содержание колеблется от 1,7 до 4,6 %. Сравнительно высокие показатели в пересчете на танин, почти в 3 раза превышающие таковые для Сулейман-Стальского района, характерны для образцов плодов, собранных в Хивском районе (таблица 3). Полученные значения являются сравнительно более высокими, чем приводимые в литературе данные, полученные при определении содержания в плодах сербского происхождения (0,65–1,31 %) [18] и в природных популяциях кизила в Турции (0,19–0,45 %) [19].

Фенольные соединения определяют антиоксидантные свойства плодов кизила. В таблице 3 представлено содержание основных групп фенолов (дубильных веществ, флавоноидов и антоцианов) в зависимости от места сбора. Для сравнительной оценки приведены литературные данные по этим же показателям.

Таблица 2
Числовые показатели влажных плодов кизила обыкновенного, % (2024–2025 гг.)

Table 2
Numerical indicators of *C. mas* fruits, % (2024–2025)

Место произрастания	Числовые показатели					
	Влажность		Зола общая		Экстрактивные вещества	
	Замороженные	Сухие	Замороженные	Сухие	Замороженные	Сухие
Образец № 1	80,3±0,3	16,3±0,2	1,02±0,1	1,9±0,3	80,3±0,2	58,1±0,3
Образец № 2	81,4±0,1	16,6±0,1	1,01±0,1	1,9±0,1	66,1±0,3	69,0±0,3
Образец № 3	78,4±0,2	18,6±0,3	0,96±0,3	1,5±0,1	69,0±0,1	66,1±0,1
Образец № 4	82,1±0,2	16,3±0,2	0,75±0,1	1,9±0,2	98,3±0,3	74,3±0,2
Образец № 5	80,3±0,3	18,7±0,2	0,81±0,1	2,2±0,1	67,0±0,2	79,0±0,2

Таблица 3
Содержание фенольных соединений в плодах кизила обыкновенного, % (2024–2025 гг.)

Table 3
Content of phenolic compounds in *C. mas* fruits (2024–2025), %

Место произрастания	Дубильные вещества, %	Флавоноиды, мг/г	Антоцианы, мг/г
Образец № 1	3,9±0,04	6±0,1	1±0,1
Образец № 2	2,7±0,02	10±0,1	5±0,2
Образец № 3	3,4±0,01	4±0,4	1±0,2
Образец № 4	1,7±0,01	6±0,1	1±0,1
Образец № 5	4,6±0,03	9±0,1	2±0,2
Литературные данные	0,6–1,3	6,67–20,67	1–8

Из данных таблицы 3 следует, что дубильные вещества (1,7–4,6 %) превышают диапазон, полученный при изучении состава плодов природных популяции из Сербии и из Турции [18; 19]. Полученные результаты могут являться защитной реакцией на низкие температуры предгорья.

Извлечение флавоноидов варьировало от 4 до 10 мг/г в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания. Высокие средние значения по данному показателю отмечены у образца № 2 (10 мг/г) и связаны с особенностями синтеза флавоноидов. Эти показатели превышают ранее приводимые значения для данного вида (6,67–20,67 мг/кг) [20], 0,81 мг/г [21]. Содержание антоцианов изменялось от 1 до 5 мг/г. Сравнительно высокие значения между популяциями выявлены у образца № 2 (5 мг/г). Концентрация антоцианов в плодах кизила дагестанского происхождения соответствует имеющимся в литературе показателям, где содержание антоцианов в плодах достигало 549 мг /кг [20], 146–328 мг/100 г [22].

Ключевыми компонентами, определяющими вкусовые и пищевые качества плодов, являются органические кислоты, аскорбиновая кислота (витамин С) и углеводы. В таблице 4 приведены их количественные значения для пяти изученных популяций. Суммарное содержания глюкозы в плодах кизила составляло 13,6–19,1 %. Сравнительно высокие значения установлены для образца № 3 (19,1 %). Полученные данные являются типичными и сопоставимы с ранее проведенными исследованиями для данного вида. Так, ранее для данного вида содержание глюкозы в плодах составляло 10 % [23].

Содержание органических кислот в плодах кизила, произрастающего на территории Республики Дагестан, варьирует от 2,1 (в окрестностях с. Хив) до 3,1 % (Самурский лес). Наиболее высокие значения выявлены у образца № 2 (3,1 %), что объясняется теплым и влажным климатом. Полученные данные превосходят как аналогичные значения для других образцов, так и литературные показатели. По данным Е. В. Криворучко [24], содержание яблочной кислоты в плодах кизила обыкновенного, произрастающего на Украине, составляло около 2,5 мг/г.

Концентрация аскорбиновой кислоты (витамина С) колеблется от 5 до 12 мг/г. Высокие значения характерны для плодов образца № 2 (12 мг/г). По литературным данным, содержание аскорбиновой кислоты в плодах природных популяций кизила греческого происхождения составляло 14–103 мг/100 г [25], 165–299 мг/100 г [26].

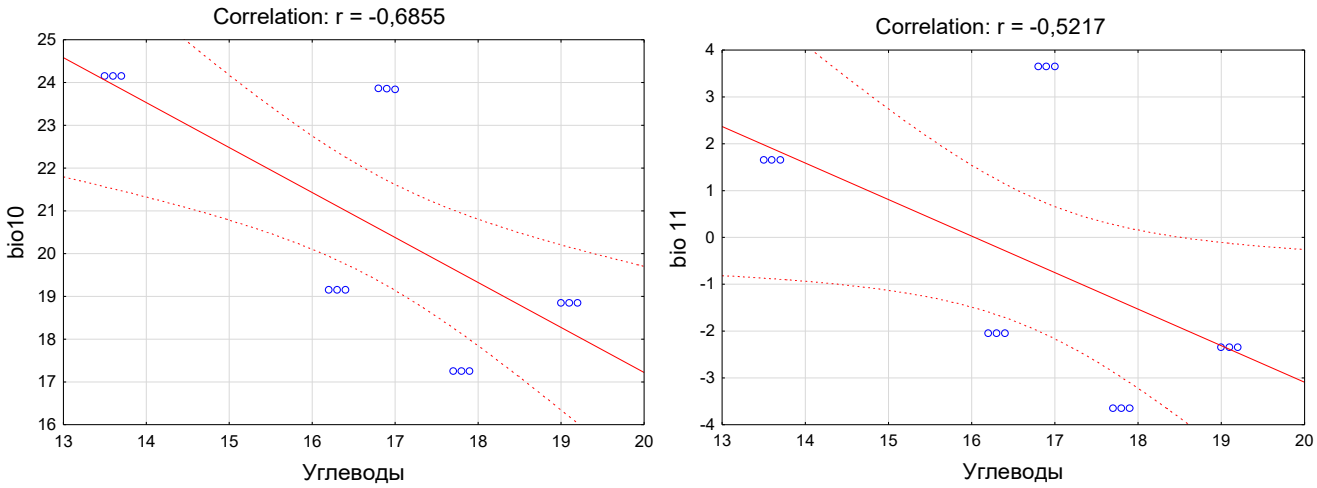
Содержание биологически активных веществ было неодинаковым в различных условиях произрастания. Для дубильных веществ и флавоноидов выявлены максимальные показатели. Сравнительно высокие значения флавоноидов, антоцианов, аскорбиновой кислоты, органических кислот характерны плодам, собранным в окрестностях Самурского леса. Высокие значения содержания дубильных вещества наблюдались в окрестностях с. Хив (4,6 %). Наличие высоких значений концентрации глюкозы выявлено в плодах образца № 3 (19,1 %). Минимальное содержание витамина С (5 мг/г) и углеводов (13,6 %) обнаружено в плодах, произрастающих в селе Мацеевка.

Результаты статистического анализа позволили оценить взаимосвязи между анализируемыми показателями и климатическими данными. Обратные корреляции установлены между относительным содержанием глюкозы и средними температурами наиболее теплого (bio 10) и холодного периодов (bio 11) (рисунок 2).

Таблица 4
Содержание БАВ в плодах кизила обыкновенного (2024–2025 гг.)

Table 4
Content of bioactive substances in *C. mas* fruits (2024–2025 гг.)

Место произрастания	Органические кислоты, %	Аскорбиновая кислота, мг/г	Углеводы, %
Образец № 1	2,2±0,01	5±0,1	13,6±0,03
Образец № 2	3,1±0,02	12±0,2	16,9±0,02
Образец № 3	2,3±0,01	6±0,1	19,1±0,02
Образец № 4	2,5±0,02	9±0,2	16,3±0,03
Образец № 5	2,1±0,01	7±0,1	17,8±0,01
Литературные данные	1–3	5–15	9–20

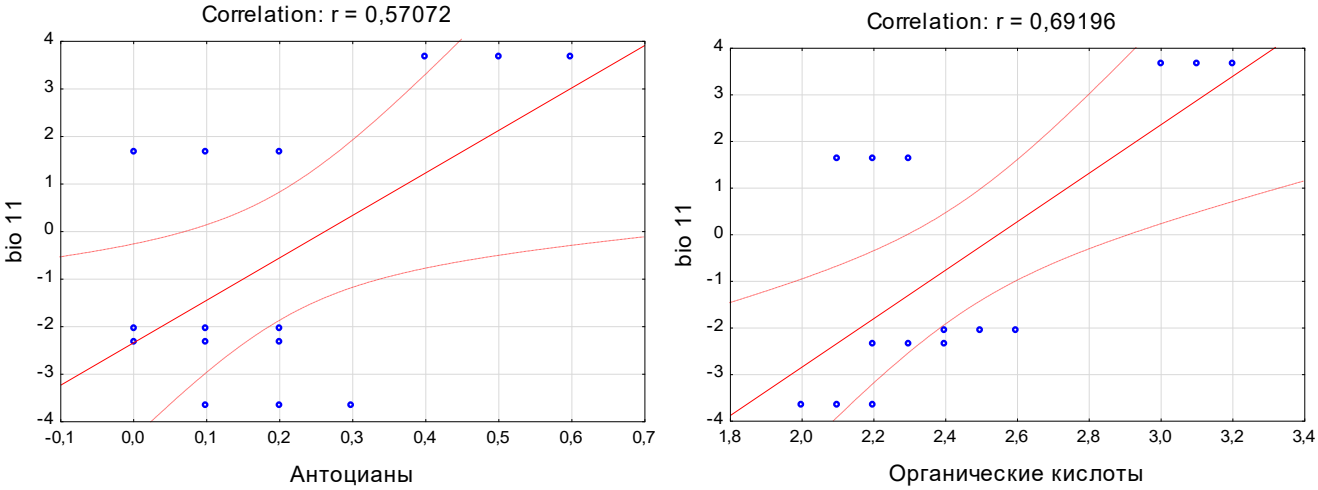


Примечание: bio10 – средняя температура наиболее теплого периода, °С;
bio11 – средняя температура наиболее холодного периода, °С

Note: bio10 is the mean temperature of the warmest period, °C;
bio11 is the mean temperature of the coldest period, °C

Рисунок 2
Зависимость содержания углеводов в плодах с температурными показателями

Figure 2
Dependence of carbohydrate content in fruits on temperature indicators



Примечание: bio 11 – средняя температура наиболее холодного периода, °С

Note: bio11 is the mean temperature of the coldest period, °C

Рисунок 3
Зависимость содержания антоцианов и органических кислот в плодах с температурными показателями

Figure 3
Dependence of anthocyanin and organic acid content in fruits on temperature

В то же время выявлены достоверные положительные связи между средней температурой наиболее холодного периода и содержанием антоцианов (0,57), а также органических кислот (0,69) (рисунок 3). Установлено, что общее содержание антоцианов и органических кислот в плодах кизила достоверно снижалось при повышении температуры в холодный период. Выявлены также достоверные положительные зависимости между содержанием глюкозы и количеством осадков в наиболее влажный период.

Выявлены достоверные положительные корреляционные связи между содержанием флавоноидов, антоцианов, аскорбиновых кислот, органических кислот. Наряду с этим достоверными оказались также отрицательные корреляционные связи между дубильными веществами и органическими кислотами (–0,60), а также аскорбиновой кислотой (–0,56) (таблица 5). Достоверных зависимостей содержания глюкозы от исследуемых параметров не было выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании проведен комплексный анализ биохимического состава плодов кизила обыкновенного (*Cornus mas* L.) из пяти природных популяций, произрастающих в контрастных климатических условиях Республики Дагестан. Определено количественное содержание: органических кислот – до 3 %, аскорбиновой кислоты – до 12 мг/г, глюкозы – до 19 %, дубильных веществ – до 5 %, флавоноидов – до 10 мг/г, антоцианов – до 5 мг/г. Оценка степени изменения содержания антоцианов и органических кислот в плодах по результатам корреляционного анализа выявила наличие достоверных положительных зависимостей с температурными показателями. Сопряженная связь установлена также по содержанию глюкозы и количеству осадков в наиболее влажный период. Содержание флавоноидов и аскорбиновой кислоты изменялось почти в 2 раза в зависимости от климатических условий мест произрастания. При увеличении показателей температурных параметров содержание флавоноидов и антоцианов в плодах возрастает. Установлено, что сравнительно больше флавоноидов и антоцианов накапливают плоды кизила, собранные в окрестностях Самурского леса. Относительно низкое содержание исследуемых показателей характерно плодам в окрестностях с. Хубар, Казбековского района. Подобное распределение может быть связано с различной степенью оводненности плодов, которые также отличались по содержанию влаги. Полученные результаты корреляционного анализа позволили установить наличие достоверных положительных зависимостей между содержанием аскорбиновой кислоты и органическими кислотами (r_{xy} = 0,89), содержанием органических кислот и антоцианами (r_{xy} = 0,75) и между флавоноидами и антоцианами (r_{xy} = 0,70). В то же время выявлены достоверные отрицательные зависимости между содержанием дубильных веществ и аскорбиновой кислотой (–0,56) и органическими кислотами (–0,60). Поскольку полученные данные являются видоспецифичными и соответствуют климатическим показателям в конкретный сезон, то для прогнозирования изменений содержания БАВ кизила следует анализировать содержание данных показателей в более контрастных условиях и с учетом большего количества мест произрастания.

Таблица 5
Коэффициент корреляции между анализируемыми показателями

Table 5
Correlation coefficient between the analyzed indicators

Показатели	Дубильные вещества	Флавоноиды	Антоцианы	Органические кислоты	Аскорбиновая кислота	Глюкоза
Дубильные вещества	1,00					
Флавоноиды	—	1,00				
Антоцианы	—	0,70**	1,00			
Орган. кислоты	–0,60*	—	0,75**	1,00		
Аскорбиновая кислота	–0,56*	0,61*	0,68**	0,89***	1,00	
Глюкоза	—	—	—	—	—	1,00

Примечание. Уровни достоверности * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$. Прочерк означает отсутствие достоверной связи.

Note. Significance levels: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$. A dash indicates that the relationship is not statistically significant.

Вклад авторов:

Л. А. Габибуллаева – проведение исследования, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Ш. А. Балаева – проведение исследования, валидация результатов.

Authors contribution:

L. A. Gabibullaeva – investigation, writing – review & editing.

Sh.A. Balayeva – investigation, validation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Мухаметзянов Р.Р., Платоновский Н.Г., Плешакова М.Е., и др. Международная торговля агропродовольственной продукцией: необходимость, факторы, объемы, основные группы товаров. *International Agricultural Journal.* 2022;65(5). https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_51
   Mukhametzyanov R.R., Platonovskiy N.G., Pleshakova M.E., et al. International trade in agro-food products: Necessity, factors, volumes, and main product groups. *International Agricultural Journal.* 2022;65(5). (In Russ.) https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_51
2. Резниченко И.Ю., Фролова Н.А. Влияние климатических условий на биологическую ценность ягодного сырья Амурской области. *Хранение и переработка сельхозсырья.* 2018;(4):92-100.
   Reznichenko I.Yu., Frolova N.A. The influence of climatic conditions on the biological value of berry raw materials of the Amur Region. *Storage and Processing of Farm Products*. 2018;(4):92-100. (In Russ.)
3. Щеклеина Л.М. Экологическая пластичность и стабильность сортов озимой ржи по иммунологической оценке и урожайности. *Таврический вестник аграрной науки.* 2025;1(41):229-241. https://doi.org/10.5281/zenodo.15147806
   Shcheklein L.M. Ecological plasticity and stability of winter rye varieties according to immunological assessment and yield. *Taurida Herald of Agrarian Science.* 2025;1(41):229-241. (In Russ.) https://doi.org/10.5281/zenodo.15147806
4. Леонова В.Н., Курегян А.Г., Печинский С.В., и др. Спектрофотометрическое определение олеуропеина листьев оливы европейской (*Olea europaea* L.). *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация.* 2025;(4):22-28.
   Leonova V.N., Kuregyan A.G., Pechinsky S.V., et al. Spectrophotometric determination of oleuropein of European olive leaves (*Olea europaea* L.). *Bulletin of VSU. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy.* 2025;(4):22-28. (In Russ.)
5. Paun G., Neagu E., Albu C., et al. Antioxidant antidiabetic activity of *Cornus mas* L. and Crataegus monogyna. *Molecules.* 2024;29:3595. https://doi.org/10.3390/molecules29153595
6. Necip A. *Cornus mas* L. seeds as a potent natural antioxidant source: insights from phenolic profiling and antioxidant capacity assays. *Journal of Oleo Science.* 2025;74(10):897-908.
7. Behrangi N., Ghafoori H., Farahmand Z., et al. Comparison among Cornelian cherry and Prunus cerasus according to phenolic content and antioxidant capacity by three various methods of extraction. *Food and Nutrition Sciences.* 2015;6:1166-1173. https://doi.org/10.4236/fns.2015.612122
8. Matkarimova G.M. Morphobiological structure of *Cornus mas* L., chemical composition and significance of fruits. *European Journal of Modern Medicine and Practice.* 2024;4(2):309-315.
9. Taş A., Gundogdu M. Physiological characterization of wild cornelian cherry genotypes in terms of phenolic compounds, organic acids and antioxidants. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2023;70:2491-2509. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01578-9
10. Алахвердиева К.Ш., Макалатия М.К., Ганиуллина А.Р. Оценка антиоксидантной активности экстракта листьев *Cornus mas* L. *Прикаспийский вестник медицины и фармации.* 2023;4(4):6-10. https://doi.org/10.17021/2712-8164-2023-4-6-10
    Alakhverdieva K.Sh., Makalatiya M.K., Ganullina A.R. Evaluation of antioxidant activity of *Cornus mas* L. leaf extract. *Caspian Journal of Medicine and Pharmacy.* 2023;4(4):6-10. (In Russ.) https://doi.org/10.17021/2712-8164-2023-4-6-10

11. Акимов М.Ю., Жидехина Т.В., Жбанова Е.В., и др. Нутриентный профиль плодов кизила (*Cornus mas* L.). *Ползуновский вестник.* 2023;(4):103-109. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.013
Akimov M.Yu., Zhidekhina T.V., Zhbanova E.V., et al. Nutrient profile of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Polzunovsky Vestnik.* 2023;(4):103-109. (In Russ.) https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.013
12. Смыков А.В., Месяц Н.В. Малораспространенные плодовые культуры, перспективные для селекции. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2025;3(176):74-88.
Smykov A.V., Mesyats N.V. Rare fruit crops that are promising for breeding. *Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation.* 2025;3(176):74-88. (In Russ.)
13. Klimenko S., Ilyinska A. The new earliest cultivar of cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Plant Introduction.* 2023;97/98:46-60. https://doi.org/10.46341/PI2023002
14. Гусейнова Н.Т., Асадова Б.К. Изучение геномного разнообразия кизила и мушмулы, возделываемых в северных районах Азербайджана. *Бюллетень науки и практики.* 2024;10(3):79. https://doi.org/10.33619/2414-2948/100/10
Huseynova N.T., Asadova B.K. Study of the genome diversity of *Cornus* L. and *Mespilus* L. cultivated in the northern regions of Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice.* 2024;10(3):79. (In Russ.) https://doi.org/10.33619/2414-2948/100/10
15. Добрынин Б.Ф. *География Дагестанской Автономной Советской Социалистической Республики.* Буйнакск; 1926.122.
Dobrynin B.F. *Geography of the Dagestan Autonomous Soviet Socialist Republic*. Buynaksk; 1926.122. (In Russ.)
16. Vareed S.K., Reddy M.K., Schutzki R.E., et al. Anthocyanins in Cornus alternifolia, Cornus controversa, Cornus kousa and Cornus florida fruits with health benefits. *Life Sciences.* 2006;78:777-784. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.05.094
17. Antoniewska-krzeska A., Ivanišová E., Klymenko S., et al. Nutrients content and composition in different morphological parts of Cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Agrobiodiversiti for Improving Nutrition Health Life Quality.* 2022;6(1):1-10. https://doi.org/10.15414/ainhlq.2022.0001
18. Bijelić S., Gološin B., Ninić Todorović J., et al. Promising Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) genotypes from natural population in Serbia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2012;77(1):5-10.
19. Gunduz K., Saracoglu O., Ösgen M., et al. Antioxidant, physical and chemical characteristics of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) at different stages of ripeness. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus.* 2013;12(4):59-66. https://doi.org/10.15835/NBHA47111375
20. Lidiková J., Čeryová N., Grygorieva O., et al. Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) as a promising source of antioxidant phenolic substances and minerals. *European Food Research and Technology.* 2024;250:1745-1754. https://doi.org/10.1007/s00217-024-04513-z
21. Kazimierski M., Regula J., Molska M. Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) – characteristics, nutritional and pro-health properties. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria.* 2019;18(1):5-12. https://doi.org/10.17306/J.AFS.2019.0628
22. Koraqi H. Analysis of anthocyanins in cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *2021 UBT International Conference. At: Prishtina-Kosovo.* 2022;342. https://doi.org/10.33107/ubt-ic.2021.325
23. Behrangi N., Ghafoori H., Farahmand Z., et al. Comparison among cornelian cherry and prunus cerasus according to phenolic content and antioxidant capacity by three various methods of extraction. *Food and Nutrition Sciences.* 2015;6:1166-1173. https://doi.org/10.4236/fns.2015.612122
24. Krivoruchko E.V. Carboxylic acids from *Cornus mas* L. *Chemistry of Natural Compounds.* 2014;50(1):112-113.
25. Pantelidis G.E., Vasilakakis M., Manganaris G.A., et al. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chemistry.* 2007;102:777-783. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.021
26. Hassanpour H., Hamidoghli Y., Hajilo J., et al. Antioxidant capacity and phytochemical properties of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) genotypes in Iran. *Scientia Horticulturae.* 2011;129:459-463. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.017

Сведения об авторах

Габибуллаева Лейла Ахмедовна —
кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории комплексных исследований природных ресурсов, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

https://orcid.org/0000-0001-9749-2432

SPIN-код: 9718-8159

leila.amirova@mail.ru

Балаева Шамсият Абдулмеджидовна —
кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической и фармацевтической химии, Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

https://orcid.org/0000-0002-9684-3437

balashamsiyat@mail.ru

About the authors

leila A. Gabibullaeva —
Cand. Sci. (Biol.) researcher in the Laboratory of comprehensive research of natural resources of the West-Caspian Region, Precaspian Institute of Biological Resources, DFRC RAS, Makhachkala, Russia

https://orcid.org/0000-0001-9749-2432

leila.amirova@mail.ru

Shamsiyat A. Balayeva —
Cand. Sci (Chem.) associate professor of the Department of analytical and pharmaceutical chemistry, Dagestan State University, Makhachkala, Russia

https://orcid.org/0000-0002-9684-3437

balashamsiyat@mail.ru

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-126

Влияние агроклиматических факторов на формирование качественных показателей винограда в процессе его созревания

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Евгений Александрович Рыбалко
E-mail: rybalko_ye_a@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ерхова А.С. Влияние агроклиматических факторов на формирование качественных показателей винограда в процессе его созревания. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):92-102. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-126 EDN ZEDGFF

ПОСТУПИЛА: 29.05.2026
ДОРАБОТАНА: 18.08.2026
ПРИНЯТА: 20.08.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 30.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ерхова А.С.

Е.А. Рыбалко ✉, Н.В. Баранова, А.С. Ерхова

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Повышение эффективности виноградарства продолжает оставаться приоритетной задачей отрасли. Достижение высокого качества винограда и, как следствие, продукции виноделия возможно лишь при создании оптимальных условий выращивания для конкретных сортов винограда с учетом агроэкологических факторов. Определение интенсивности воздействия отдельных экологических факторов и характера их взаимовлияния имеет фундаментальное значение как с теоретической, так и с прикладной точки зрения.

ЦЕЛЬ. Получить аналитические данные о степени влияния агроклиматических факторов на формирование качественных показателей винограда в процессе его созревания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Объектами исследования являлись климатические данные по метеостанции «Ялта» (2022–2024 гг.) и параметры качества винограда различных сортов, полученного с виноградников тестового полигона южнобережной зоны Крыма. Исследования проведены на базе сектора агроэкологии НИЦ «Курчатовский институт». В работе использованы индексы, рекомендованные МОВВ (RESOLUTION OIV-VITI 423-2012 REV1) для терруарной специализации виноградарско-винодельческой отрасли.

РЕЗУЛЬТАТЫ. По результатам проведенных исследований на территории Южнобережной зоны выделены агроклиматические показатели, оказывающие наиболее значимое влияние на массовую концентрацию сахаров и титруемых кислот в винограде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные аналитические данные позволят оптимизировать размещение промышленных виноградников и повысить эффективность производства продукции за счет наиболее рационального использования природных ресурсов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виноград, сорт, агроклиматические показатели, показатели качества винограда, массовая концентрация сахаров, массовая концентрация титруемых кислот, коэффициенты парной корреляции

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-126

Effect of agro-climatic factors on the formation of grape quality indicators during the ripening process

CORRESPONDENCE:
Evgeniy A. Rybalko
E-mail: rybalko_ye_a@mail.ru

FOR CITATION:
Rybalko E.A., Baranova N.V., Erkhova A.S. Effect of agro-climatic factors on the formation of grape quality indicators during the ripening process. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):92-102. (In Russ.) https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-126

RECEIVED: 29.05.2026
REVISED: 18.08.2026
ACCEPTED: 20.08.2026
PUBLISHED ONLINE: 30.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Rybalko E.A., Baranova N.V., Erkhova A.S.

Evgeniy A. Rybalko ✉, Natalia V. Baranova, Alina S. Erkhova

National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Improving the efficiency of viticulture remains a priority for the industry. Achieving high grape quality, and consequently high-quality wine products, is possible only when optimal growing conditions are provided for specific cultivars, taking into account agroecological factors. Determining the intensity of impact of individual environmental factors and the nature of their interactions is of fundamental importance from both theoretical and applied perspectives.

AIM. To obtain analytical data on the degree to which agroclimatic factors affect the formation of grape quality parameters during ripening.

MATERIALS AND METHODS. The work studied climatic data from the Yalta weather station (2022–2024) and quality parameters of grapes from various varieties grown in the vineyards of the test site located in the southern coastal zone of Crimea. The research was carried out at the Department of Agroecology of the National Research Centre "Kurchatov Institute". The study employed the indices recommended by the MOBB (RESOLUTION OIV-VITI 423-2012 Rev1) for the terroir-based specialization of the viticulture and winemaking sector.

RESULTS. The agroclimatic indicators that exert the most significant influence on the mass concentration of sugars and titratable acids in grapes were identified within the southern coastal zone.

CONCLUSION. The analytical data obtained will enable the optimization of the placement of commercial vineyards and enhance production efficiency through the most rational utilization of natural resources.

KEYWORDS: grapes, variety, agro-climatic indicators, grape quality indicators, mass concentration of sugars, mass concentration of titrated acids, pair correlation coefficients

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности виноградарства продолжает оставаться приоритетной задачей отрасли. Достижение высокого качества винограда и, как следствие, продукции виноделия возможно лишь при создании оптимальных условий выращивания для конкретных сортов винограда с учетом агроэкологических факторов. При этом важно выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на качественные показатели винограда, и установить их оптимальные значения [1–4].

Температура и влажность играют решающую роль в определении возможности выращивания винограда высокого качества в конкретной географической зоне. Основные изменения в составе ягод винограда происходят в процессе созревания.

Технологические параметры, такие как общее содержание сахаров и кислот, служат важными показателями для оценки зрелости винограда. Созревание ягод характеризуется быстрым накоплением сахаров и снижением уровня кислоты [5], при этом время и степень этих изменений значительно варьируются в зависимости от сорта, климата, почвы и методов виноградарства [6].

Соотношение сахара и общей кислотности линейно меняется в зависимости от суммы активных температур в течение первых четырех недель после начала созревания. Скорость созревания винограда снижается с увеличением веса ягод, а также зависит от водного баланса растения. Используя этот подход, виноградари могут через четыре недели после начала созревания определить, с какой скоростью созревает виноград на каждом отдельном участке виноградника [5]. По мере созревания размер ягод и содержание сухого вещества в них постепенно увеличивается, а содержание влаги и плотность уменьшается [6]. Выявлена корреляция между концентрацией сахаров, титруемой кислотностью, соотношением сахар/кислота и урожайностью винограда с накоплением тепла (измеренным в градусо-днях) в различные периоды вегетации винограда [7]. Оптимальным температурным режимом для созревания виноградных ягод считается диапазон от 28 до 32 °C. При температурах, не превышающих 14 °C, процесс созревания ягод существенно замедляется. Объясняется это большой ролью, которую играет температура в интенсивности ассимиляции и дыхания [8]. Снижение гидротермического коэффициента (ГТК) способствует росту сахаристости и снижению кислотности. Анализ сезонной динамики на территории Нижнего Придонья выявил, что в среднем скорость роста сахаристости составила 0,080 (г/100 $см^3$)/сут, снижения кислотности — 0,043 (г/$дм^3$)/сут. Скорость роста сахаристости увеличивалась в годы с более коротким периодом от начала созревания до полной зрелости ягод [9].

Климатические факторы играют решающую роль в формировании терруара. В целях исследования зависимости развития виноградного растения от тепло- и влагообеспеченности территории произрастания были созданы разнообразные биоклиматические индексы: прохладности ночей (CI), сухости (DI) и Хуглина (HI). Индексы определяют влияние сезонных изменений погоды на урожайность и качественные характеристики сортов винограда и получаемого вина. С помощью этих индексов можно спрогнозировать, будет ли виноград расти в том или ином регионе, а также оценить качество винограда [10]. Также для оценки климатических характеристик виноградника эффективен расчет биоклиматических индексов, основанных на комбинациях термических и гидрологических индексов, таких как эноклиматическая пригодность, индекс (IAOe) или биоклиматический индекс виноградной лозы (Ibcv) [11].

Показатель прохладности ночей существенно влияет на фенольный состав винограда, его ароматический профиль и общее качество вина. Гелиотермический индекс Хуглина доказал свою эффективность в средиземноморском климате, где высокая солнечная радиация совпадает с оптимальными температурами для созревания винограда [12; 13].

Проведение расчетов биоклиматических индексов на заданных территориях позволяет сформулировать рекомендации относительно пригодности климатических условий для оптимального выращивания винограда, предназначенного для разнообразных направлений использования.

С помощью расчета трех индексов (индекса Хуглина, индекса прохладности ночей и индекса сухости) были определены шесть климатических классов для виноградарства и подтверждена пригодность климатических условий Уругвая для выращивания винограда [14]. В регионах на северо-западе Китая определена взаимосвязь между качеством винограда (*Vitis vinifera* L.) и факторами окружающей среды (климатом и почвой), а также изучены теоретические основы и разработаны технические рекомендации для рационального планирования площадей

под выращивание винограда и точного регулирования режима выращивания в будущем [15]. На основе расчета биоклиматических индексов применительно к выращиванию винограда проведен анализ винодельческих территорий Верхнего Дона (Ростовская область) и Севастопольской зоны (Крымский полуостров) за период 2003–2023 годы [16]. Оценка климатических индексов применена для определения пригодности основных мировых центров происхождения винограда V. vinifera для его выращивания [17]. В различных странах проводится мониторинг влияния сезонных изменений погоды различных лет на урожайность и качественные характеристики различных сортов винограда с помощью биоклиматических индексов [18; 19]. Оценка потенциала виноградарства путем расчета гелиотермического индекса и анализа его динамики за последние 20 лет произведена в Эстонии. Исследование подтвердило пригодность протестированных сортов для производства сухого вина в Эстонии [20].

Разработан подход для характеристики специфических для сортов реакций на климатическую засуху в винодельческом регионе Центральной Европы (Эгерский винодельческий регион на северо-востоке Венгрии). Установлена устойчивая взаимосвязь между индексом сухости как показателем чувствительности к засухе и сбалансированной кислотностью, обеспечивающей основу для прогнозирования будущей кислотности винограда в условиях меняющегося климата [21].

Определение интенсивности воздействия отдельных экологических факторов и характера их взаимовлияния имеет фундаментальное значение как с теоретической, так и с прикладной точки зрения. Данный анализ необходим для осуществления адекватной оценки земельных участков, отбора соответствующих сортов винограда и обеспечения устойчивого получения высококачественных урожаев. Глубокое изучение динамики изменений качественных характеристик винограда в ходе созревания, с учетом специфики агроэкологических условий региона является актуальной задачей для отрасли. Поэтому исследования, направленные на выявление влияния климатических факторов на качество винограда и возможности его дальнейшего использования, имеют особую значимость. В связи с этим целью исследования является получение аналитических данных о степени влияния агроклиматических факторов на формирование качественных показателей винограда в процессе его созревания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись климатические данные по метеостанции «Ялта» (2022–2024 гг.) и параметры качества винограда восьми сортов (Алеатико, Бастардо магарачский, Верделью, Каберне Совиньон, Мускат белый, Саперави, Серсиаль, Траминер розовый), полученного в 2022–2024 гг. с виноградников в пгт. Ливадия Южного берега Крыма. Исследования проведены на базе сектора агроэкологии НИЦ «Курчатовский институт» — «Магарач». Образцы ягод различных сортов винограда для исследования были собраны на территории выбранного тестового полигона, включающего в себя восемь участков, компактно расположенных в виде единого массива, суммарной площадью 10,37 га.

В работе использованы индексы, рекомендованные MOBB (RESOLUTION OIV-VITI 423-2012 REV1) для терруарной специализации виноградарско-винодельческой отрасли [22].

Для визуализации пространственного распределения агроэкологических ресурсов, анализа влияния морфометрических особенностей местности на агроклиматические условия, а также целей агроэкологического моделирования использованы географические информационные системы.

Измерение массовой концентрации сахаров и кислот в винограде проведено с помощью прибора Atago PAL-BX/ACID 2, принцип измерения сахаристости — рефрактометрический, кислотности – измерение электропроводности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климат влияет на качество винограда, изменяя концентрацию сахаров, органических кислот и вторичных соединений [23].

Для выявления агроклиматических факторов и индексов, оказывающих наибольшее влияние на накопление сахаров и титруемых кислот в ягодах винограда независимо от сорта, по метеоданным (2022–2024 гг.) были рассчитаны средние значения коэффициентов парной корреляции между каждым из проанализированных факторов и показателями качества винограда. Массовая концентрация сахаров и массовая концентрация титруемых кислот служили показателями качества винограда, полученного на территории тестового полигона (пгт. Ливадия, Южный берег

Крыма) в 2022–2024 гг. Результаты значений коэффициентов парной корреляции между каждым из проанализированных факторов и показателями качества винограда представлены в таблицах 1, 2.

По данным таблицы 1, массовая концентрация сахаров в винограде имеет высокую положительную силу связи с суммами температур воздуха выше 10 и 20 °С и индексами Хуглина и Уинклера. Усредненные по восьми проанализированным сортам винограда коэффициенты парной корреляции превышают 0,77. Соответственно увеличение сахаров в ягодах винограда в большей степени зависит от вышеприведенных показателей. Все данные показатели характеризуют теплообеспеченность территории. Полученные данные согласуются с выводами ученых, отмечающих высокую корреляционную связь между индексами Хуглина и Уинклера и содержанием сахара в винограде [24].

Коэффициент корреляции массовой концентрации сахаров со средней температурой воздуха за вегетационный период имеет среднюю положительную связь (0,68). Наши данные сочетаются с результатами ученых, установивших положительную корреляционную связь между средней температурой вегетационного периода (0,8891–0,9856) и содержания сахара в винограде всех проанализированных сортов В. Винифера [24].

Показатели, характеризующие влагообеспеченность местности, имели значительно менее тесную связь (слабую и умеренную) с накоплением сахаров в ягодах винограда. Наибольшая отрицательная связь наблюдалась с индексом сухости. Коэффициент корреляции массовой концентрации сахаров в винограде с индексом сухости в среднем по сортам составляет –0,68, что соответствует силе связи, очень близкой к высокой. Снижение количества сахаров в ягодах зависит от значений этого индекса. На наличие отрицательной связи между количеством осадков в течение вегетационного периода и содержанием сахаров указывают данные исследователей [24].

Таблица 1

Коэффициенты парной корреляции массовой концентрации сахаров в винограде с агроклиматическими показателями, характеризующими условия тепло- и влагообеспеченности (пгт. Ливадия, 2022–2024 гг.)

Table 1

Coefficients of pair correlation of mass concentration of sugars in grapes with agroclimatic indicators characterizing conditions of heat and moisture supply (Livadia, 2022–2024)

Сорт	Агроклиматические показатели														
	Сумма температур воздуха, °С			Отношение сумм температур воздуха (выше 20 °С / выше 10 °С)	Индекс				Средняя температура воздуха, °С		Сумма суточных амплитуд температуры воздуха за месяц до даты замеров,°С	Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК)	Сумма осадков, мм		
	выше 10 °С за вегетационный период	выше 20 °С за вегетационный период	выше 10 °С за месяц до даты замеров		Хуглина (HI)	Уинклера (WI)	холодных ночей (CI)	сухости (DI)	за вегетационный период	за месяц до даты замеров			за год	за вегетационный период	за месяц до даты замеров
Алеатико	0,87	0,63	0,20	0,02	0,82	0,82	0,12	–0,69	0,30	0,11	–0,17	–0,02	–0,23	0,20	–0,27
Бастардо магарачский	0,75	0,58	0,69	0,10	0,77	0,78	0,60	–0,82	0,85	0,63	–0,16	–0,69	–0,44	–0,52	–0,57
Вердельо	0,87	0,86	0,29	0,47	0,88	0,88	0,21	–0,50	0,51	0,18	–0,32	–0,09	0,14	0,13	0,01
Каберне Совиньон	0,73	0,75	0,65	0,45	0,79	0,80	0,62	–0,56	0,90	0,59	–0,37	–0,58	0,00	–0,41	–0,17
Мускат белый	0,94	0,79	0,40	0,25	0,93	0,93	0,32	–0,74	0,61	0,31	–0,24	–0,28	–0,16	–0,05	–0,28
Саперави	0,95	0,93	0,36	0,51	0,97	0,97	0,31	–0,64	0,67	0,27	–0,34	–0,28	0,05	–0,05	–0,12
Серсиаль	0,94	0,81	0,56	0,26	0,95	0,96	0,49	–0,79	0,77	0,48	–0,31	–0,44	–0,20	–0,21	–0,33
Траминер розовый	0,87	0,79	0,66	0,33	0,89	0,90	0,62	–0,68	0,79	0,58	–0,49	–0,44	–0,08	–0,22	–0,24
Среднее	0,87	0,77	0,48	0,30	0,88	0,88	0,41	–0,68	0,68	0,39	–0,30	–0,35	–0,12	–0,14	–0,25

Таблица 2
Коэффициенты парной корреляции массовой концентрации титруемых кислот в винограде с агроклиматическими показателями, характеризующими условия тепло- и влагообеспеченности (пгт. Ливадия, 2022–2024 гг.)

Table 2
Coefficients of pair correlation of the mass concentration of titrated acids in grapes with agroclimatic indicators characterizing the conditions of heat and moisture supply (Livadia, 2022–2024)

Сорт	Агроклиматические показатели														
	Сумма температур воздуха, °С			Отношение сумм температур воздуха (выше 20 °С / выше 10 °С)	Индекс				Средняя температура воздуха, °С		Сумма суточных амплитуд температуры воздуха за месяц до даты замеров, °С	Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК)	Сумма осадков, мм		
	выше 10 °С за вегетационный период	выше 20 °С за вегетационный период	выше 10 °С за месяц до даты замеров		Хуглина (HI)	Уинклера (WI)	холодных ночей (CI)	сухости (DI)	за вегетационный период	за месяц до даты замеров			за год	за вегетационный период	за месяц до даты замеров
Алеатико	–0,76	–0,90	–0,39	–0,71	–0,81	–0,81	–0,36	0,33	–0,61	–0,31	0,43	0,17	–0,36	–0,02	–0,19
Бастардо магарачский	–0,77	–0,89	–0,48	–0,67	–0,83	–0,83	–0,47	0,38	–0,69	–0,41	0,55	0,25	–0,31	0,05	–0,14
Вердельо	–0,78	–0,84	–0,30	–0,54	–0,81	–0,81	–0,28	0,35	–0,52	–0,21	0,52	0,06	–0,30	–0,15	–0,16
Каберне Совиньон	–0,81	–0,86	–0,48	–0,57	–0,85	–0,85	–0,48	0,39	–0,65	–0,41	0,60	0,19	–0,27	–0,02	–0,14
Мускат белый	–0,48	–0,70	–0,53	–0,72	–0,57	–0,57	–0,59	0,12	–0,67	–0,51	0,65	0,30	–0,43	0,17	–0,23
Саперави	–0,85	–0,94	–0,28	–0,68	–0,88	–0,88	–0,24	0,39	–0,53	–0,18	0,44	0,08	–0,31	–0,13	–0,14
Сersиаль	–0,83	–0,78	–0,46	–0,36	–0,84	–0,85	–0,47	0,49	–0,61	–0,41	0,62	0,18	–0,12	–0,05	0,01
Траминер розовый	–0,73	–0,67	–0,50	–0,29	–0,74	–0,75	–0,51	0,43	–0,59	–0,45	0,61	0,20	–0,09	0,00	0,02
Среднее	–0,75	–0,82	–0,43	–0,57	–0,79	–0,79	–0,43	0,36	–0,61	–0,36	0,55	0,18	–0,27	–0,02	–0,12

По данным таблицы 2, массовая концентрация титруемых кислот в ягодах винограда имеет высокую отрицательную корреляцию с суммами температур воздуха выше 10 и 20 °С и индексами Хуглина и Уинклера. Коэффициент корреляции находится на уровне от –0,75 до –0,82. Средняя корреляционная связь установлена между средней температурой воздуха за вегетационный период и массовой концентрацией титруемых кислот (–0,61). Подтверждение полученного нами результата имеется в работах авторов: снижение общей кислотности винограда обратно коррелировало с повышением годовой и вегетационной температуры (–0,8966… –0,9854) [15; 24].

Показатели, характеризующие влагообеспеченность местности, имеют слабую отрицательную корреляцию (–0,02…–0,27) с массовой концентрацией титруемых кислот. Показатели ГТК и индекса сухости имеют положительную связь от слабой до умеренной (0,18–0,36).

Солнечный свет является одним из главных факторов, определяющих качество винограда. Он влияет на развитие фотосинтеза, накопление сахаров, синтез фенольных соединений и многие другие процессы, происходящие при росте и развитии виноградного растения.

При выполнении дальнейших исследований произведен расчет коэффициентов парной корреляции массовой концентрации сахаров и титруемых кислот в винограде технических сортов с агроклиматическими показателями, характеризующими радиационные ресурсы территории, а также с комплексными агроклиматическими индексами на тестовом полигоне (пгт. Ливадия, Южный берег Крыма) в 2022–2024 гг. (таблицы 3, 4).

Таблица 3
Коэффициенты парной корреляции массовой концентрации сахаров в винограде с агроклиматическими показателями, характеризующими радиационные ресурсы территории, а также с комплексными агроклиматическими индексами (пгт. Ливадия, 2022–2024 гг.)

Table 3
Correlation coefficients of the mass concentration of sugars in grapes with agro-climatic indicators characterizing the radiation resources of the territory, as well as with complex agro-climatic indices (Livadia, 2022–2024)

Сорт	Агроклиматические показатели						
	Количество часов солнечного сияния		IAOe[1]	БИК[2]	Количество дней с температурой воздуха 25–30 °C		ТПФ[3]
	за вегетационный период	за месяц до даты замеров			за вегетационный период	за месяц до даты замеров	
Алеатико	0,67	–0,41	0,84	–0,08	0,72	–0,82	0,87
Бастардо магарачский	0,56	–0,45	0,74	0,64	0,34	–0,58	0,55
Вердельо	0,87	–0,62	0,88	0,17	0,82	–0,10	0,85
Каберне Совиньон	0,72	–0,71	0,74	0,70	0,48	–0,29	0,57
Мускат белый	0,80	–0,59	0,93	0,26	0,75	–0,32	0,87
Саперави	0,93	–0,71	0,96	0,35	0,82	–0,22	0,89
Серсиаль	0,80	–0,66	0,93	0,44	0,69	–0,38	0,83
Траминер розовый	0,77	–0,74	0,86	0,46	0,63	–0,42	0,75
Среднее	0,77	–0,61	0,86	0,37	0,66	–0,39	0,77

Примечание: [1] индекс эноклиматической пригодности [25]; [2] биоклиматический индекс [26]; [3] интегральный показатель температурного потенциала фотосинтеза [27].

Note: [1] Enoclimatic suitability index [25]; [2] Bioclimatic index [26]; [3] Integral indicator of the temperature potential of photosynthesis [27].

Таблица 4
Коэффициенты парной корреляции массовой концентрации титруемых кислот в винограде с агроклиматическими показателями, характеризующими радиационные ресурсы территории, а также с комплексными агроклиматическими индексами (пгт. Ливадия, 2022–2024 гг.)

Table 4
Coefficients of pair correlation of the mass concentration of titrated acids in grapes with agroclimatic indicators characterizing the radiation resources of the territory, as well as with complex agroclimatic indices (Livadia, 2022–2024)

Сорт	Агроклиматические показатели						
	Количество часов солнечного сияния		IAOe[1]	БИК[2]	Количество дней с температурой воздуха 25–30 °C		ТПФ[3]
	за вегетационный период	за месяц до даты замеров			за вегетационный период	за месяц до даты замеров	
Алеатико	–0,89	0,73	–0,79	–0,33	–0,75	0,05	–0,72
Бастардо магарачский	–0,87	0,82	–0,81	–0,38	–0,70	0,24	–0,72
Вердельо	–0,84	0,76	–0,80	–0,18	–0,79	0,02	–0,78
Каберне Совиньон	–0,85	0,83	–0,82	–0,30	–0,73	0,23	–0,76
Мускат белый	–0,67	0,74	–0,52	–0,47	–0,42	0,25	–0,39
Саперави	–0,95	0,72	–0,88	–0,20	–0,85	0,11	–0,84
Серсиаль	–0,78	0,77	–0,83	–0,22	–0,71	0,30	–0,78
Траминер розовый	–0,67	0,70	–0,72	–0,24	–0,59	0,27	–0,66
Среднее	–0,82	0,76	–0,77	–0,29	–0,69	0,18	–0,71

Примечание: [1] индекс эноклиматической пригодности [25]; [2] биоклиматический индекс [26]; [3] интегральный показатель температурного потенциала фотосинтеза [27].

Note: [1] Enoclimatic suitability index [25]; [2] Bioclimatic index [26]; [3] Integral indicator of the temperature potential of photosynthesis [27].

По данным таблицы 3, массовая концентрация сахаров имеет высокую положительную корреляцию с количеством часов солнечного сияния за вегетационный период, индексом эноклиматической пригодности и интегральным показателем температурного потенциала фотосинтеза. Коэффициенты парной корреляции находятся в пределах от 0,77 до 0,86. Положительная средняя сила связи прослеживается между количеством дней с температурой воздуха 25–30 °С за вегетационный период и массовой концентрацией сахаров в ягодах винограда (0,66). Биоклиматический индекс имеет умеренную связь с количеством сахаров (0,37). Отрицательная умеренная и средняя корреляционная связь прослеживалась между массовой концентрацией сахаров и количеством часов солнечного сияния, а также количеством дней с температурой воздуха 25–30 °С за месяц до сбора урожая (−0,61...−0,39).

Данные таблицы 4 указывают на высокую положительную связь массовой концентрации титруемых кислот с количеством часов солнечного сияния за месяц до даты замеров (сбора урожая). Высокая и средняя отрицательная корреляция прослеживается между массовой концентрацией титруемых кислот с такими показателями, как количество часов солнечного сияния за вегетационный период (−0,82), индекс эноклиматической пригодности (−0,77), интегральный показатель температурного потенциала фотосинтеза и количество дней с температурой воздуха 25–30 °С за вегетационный период (−0,69). Очень слабая связь титруемых кислот в ягодах винограда выявлена с биоклиматическим индексом −0,29. Из всех проанализированных агроклиматических показателей, характеризующих радиационные ресурсы территории, а также комплексных агроклиматических индексов наиболее тесную связь с массовой концентрацией сахаров в винограде имеет индекс эноклиматической пригодности с массовой концентрацией титруемых кислот — количество часов солнечного сияния за вегетационный период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований на территории южнобережной зоны выделены показатели, оказывающие наиболее значимое влияние на массовую концентрацию сахаров и титруемых кислот в винограде: суммы температур воздуха выше 10 и 20 °С, индексы Хуглина и Уинклера, количество часов солнечного сияния за вегетационный период, индекс эноклиматической пригодности и интегральный показатель температурного потенциала фотосинтеза. Все эти показатели отражают температурные и радиационные ресурсы территории и оказывают прямое влияние на накопление сахаров и общее снижение кислотности в винограде всех анализируемых сортов.

Факторы, характеризующие влагообеспеченность местности, как правило, не оказывали значимого влияния на массовую концентрацию сахаров и титруемых кислот в винограде. Однако можно выделить индекс сухости, который по сравнению с другими показателями влагообеспеченности имел более высокую корреляцию с качественными характеристиками урожая.

Полученные аналитические данные позволят оптимизировать размещение промышленных виноградников и повысить эффективность производства продукции за счет наиболее рационального использования природных ресурсов.

Вклад авторов

Е. А. Рыбалко: научное руководство, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Н. В. Баранова: проведение исследования, написание черновика рукописи.

А. С. Ерхова: проведение исследования, курирование данных.

Contributions

E. A. Rybalko: supervision, writing – review and editing.

N. V. Baranova: investigation, writing – original draft.

A. S. Yerkova: investigation, data curation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ерхова А.С. Влияние агроклиматических факторов и индексов территории Крымского полуострова на качественные показатели винограда. «*Магарач». Виноградарство и виноделие*. 2025;2:80-85. EDN EVEXBG.
   Rybalko E.A., Baranova N.V., Erkhova A.S. The effect of agroclimatic factors and indices of the Crimean Peninsula territory on the quality indicators of grapes. "*Magarach". Viticulture and Winemaking.* 2025;2:80-85. (In Russ.) EDN EVEXBG.
2. Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ерхова А.С. Влияние радиационных ресурсов на накопление сахаров виноградной ягоды в Южнобережной зоне Крыма. *«Магарач». Виноградарство и виноделие*. 2025;27(3):203-208. EDN KUGHRU.
   Rybalko E.A., Baranova N.V., Erkhova A.S. The effect of radiation resources on the accumulation of sugars in grape berries in the South Coastal zone of Crimea. "*Magarach". Viticulture and Winemaking*. 2025;27(3):203-208. (In Russ.) EDN KUGHRU.
3. Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ерхова А.С. Анализ территориального варьирования индекса сухости (DI) в условиях Крымского полуострова. *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2025;(3):128-135.10. https://doi.org/21515/1999-1703-119-128-135
   Rybalko E.A., Baranova N.V., Erkhova A.S. Analysis of the territorial drought index (DI) variation in the Crimean Peninsula. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2025; (3):128-135.10. (In Russ.) https://doi.org/21515/1999-1703-119-128-135
4. Drappier J., Thibon C., Rabot A., et al. Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017;(8):1-17. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1355776
5. Colak N., Bengu A. S. Ripening-Related Changes in the Nutritional Profile of a Little-Known Red 'Isabel' Grape (*Vitis vinifera* L. × *Vitis labrusca* L.). *Applied Fruit Science.* 2024;66(5):1877-1889. https://doi.org/10.1007/s10341-024-01166-w
6. Van Leeuwen C., Destrac-Irvine A., Gowdy M., et al. An operational model for capturing grape ripening dynamics to support harvest decisions. *OENO One*. 2023;(57):505-522. https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.2.7399
7. Lanari V., Zacconi F., Illuminati S., et al. Seasonal evolution impact on Montepulciano grape ripening. BIO Web of Conferences. 2022;44:01001. https://doi.org/10.1051/bioconf/2022440100117
8. Смирнов К.В., Калмыкова Т.И., Морозова Г.С. *Виноградарство* / под ред. К. В. Смирнова. Москва : Агропромиздат, 1987. 367.
   Smirnov K.V., Kalmykova T.I., Morozova G.S. *Viticulture* / Edited by K. V. Smirnov. Moscow : Agropromizdat, 1987. 367. (In Russ.)
9. Новикова Л.Ю., Наумова Л.Г., Ганич В.А. Сезонная динамика сахаристости и кислотности ягод донского аборигенного сорта винограда Варюшкин. *Вестник КрасГАУ*. 2023;(5):57-63. https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-57-63
   Novikova L.Yu., Naumova L.G., Ganich V.A. Seasonal dynamics of sugar content and acidity of the berries of the Don native grape variety Varyushkin. *Bulletin of KSAU*. 2023;(5):57-63. (In Russ.) https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-57-63
10. Tonietto J., Carbonneau A. A. Multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2004;(124): 81-97. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001
11. Rotaru L., Filimon V.R., Filimon R.M., et al. Preliminary studies on some morpho-structural and biochemical characterization of some genotypes of *Vitis vinifera* L. cultivated in northeast Romania. *Journal of Applied Life Sciences and Environment.* 2024;57(1):69-90. https://doi.org/10.46909/alse-571124
12. Gregory J., Eric D., Tomasi D., et al. Changes in European winegrape phenology and relationships with climate. *Proceedings XIV GESCO Symposium*. Geisenheim, Germany. 2005.54-59
13. Lakatos L., Mika J. Analysis of quadratic correlation between dryness indices and wine grape yield to estimate future climate impacts in Hungary. *Climate*. 2022;(11):165. https://doi.org/10.3390/cli10110165

14. Ferrer M., Pedocchi R., Michelazzo M., et al. Delimitacion y descripcion de regiones vitícolas del Uruguay en base al metodo de clasificacion climatica multicriterio utilizando índices bioclimaticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia Uruguay*. 2007;(1):47-56. https://doi.org/10.31285/AGRO.11.768
15. Yan H.K., Ma Sh.Y., Lu X., et al. Response of wine grape quality to rainfall, temperature, and soil properties in Hexi corridor. *HortScience*. 2022;57(12):1593-1599. https://doi.org/10.21273/HORTSCI16845-22
16. Балаберников П.И., Бубнов Е.К., Габечая В.В., и др. Сравнительная оценка агроклиматических условий двух винодельческих зон Крыма и Ростовской области. *АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал*. 2025;5(71):47. https://doi.org/10.51419/202155529
Balabernikov P.I., Bubnov E.K., Gabechaya V.V., et al. Comparative assessment of the agro-climatic conditions of two wine-growing zones of the Crimea and the Rostov region. *Agroecoinfo: Electronic Scientific and Production Journal*. 2025;5(71):47 (In Russ.) https://doi.org/10.51419/202155529
17. Kose B. Evaluating of wine grapes phenology by using different climatic indices, grown in black sea region, Turkey. *Erwerbs-Obstbau*. 2021;63(3):1-12. https://doi.org/10.1007/s10341-021-00584-4
18. Kok D. Monitoring the effect of seasonal weather fluctuations on yield and quality characteristics of distinct wine grape cultivars (*V. vinifera* L.) grown in Turkey's Thrace region: a comparative analysis of 2017 and 2018. *Applied Fruit Science*. 2025;304. https://doi.org/10.1007/s10341-025-01542-0
19. Jarvis C., Barlow E., Darbyshire R., et al. Relationship between viticultural climatic indices and grape maturity in Australia. *International Journal of Biometeorology*. 2017;(61):1849-1862. https://doi.org/10.1007/s00484-017-1370-9
20. Ratsep R., Maante-Kuljus M., Karp K., et al. Assessing Estonia's viticultural potential based on the compositional analysis of sugars and acid compositional analysis of wine grape cultivars. *Agricultural and Food Science*. 2025;34(3):202-212. https://doi.org/10.23986/afsci.160985
21. Lakatos L. An acidity-based model linking the dryness index to grapevine acidity under climate change. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2026;1:4933606. https://doi.org/10.1155/ajgw/4933606
22. Van Leeuwen C., Bois B. Update in unified terroir zoning methodologies. *2E3S Web of Conferences XII Congreso Internacional Terroir*. 2018.01044. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001044
23. Stanfield R.C., Forrestel E.J., Elmendorf K.E., et al. Phloem anatomy predicts berry sugar accumulation across 13 wine-grape cultivars. *Frontiers in Plant Science*. 2024;15;1360381. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1360381
24. Filimon R.M., Bunea C.I., Filimon R.V., et al. Long-term evolution of the climatic factors and its influence on grape quality in Northeastern Romania. *Horticulturae*. 2024;(7):705. https://doi.org/10.3390/horticulturae10070705
25. Teodorescu Şt., Popa Al., Sandu G. *Oenoclimatul României*. Ed. Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucharest. 1987.
26. Constantinescu Gh. *Methodes et Principes de Determination des Aptitudes Viticoles D'une Region et du Choix des Cepages Appropries*. – 47e Assemblee Generale de O.I.V., Mainz, 1967.
27. Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Ерхова А.С. Влияние радиационных ресурсов на показатели качества винограда, произрастающего в условиях Южного берега Крыма. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2025;(3):70-77. EDN: BRTFRF
Rybalko E.A., Baranova N.V., Erkhova A.S. Influence of radiation resources on quality indicators of grapes growing in the conditions of the Southern coast of Crimea. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2025;(3):70-77. (In Russ.) EDN: BRTFRF

Сведения об авторах

Рыбалко Евгений Александрович —
кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий группой агроэкологии, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия
https://orcid/org/0000-0002-4579-3505
SPIN-код: 9980-8209
rybalko_ye_a@mail.ru

About the authors

Evgeniy A. Rybalko —
Cand. Sci. (Agric.), Leading Staff Scientist, Head of the Agroecology Group, National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia
https://orcid/org/0000-0002-4579-3505
rybalko_ye_a@mail.ru

Баранова Наталья Валентиновна —
кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник группы агроэкологии, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия
https://orcid/org/0000-0002-2588-360X
SPIN-код: 3441-3902
natali.v.0468@mail.ru

Ерхова Алина Сергеевна —
младший научный сотрудник группы агроэкологии, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия
https://orcid/org/0000-0002-6920-471X
SPIN-код: 3140-0068
alina_meotida@mail.ru

Natalia V. Baranova —
Cand. Sci. (Agric.), Senior Staff Scientist, Leading Staff Scientist, Agroecology Group, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
https://orcid/org/0000-0002-2588-360X
natali.v.0468@mail.ru

Alina S. Erkhova —
Junior Staff Scientist, Agroecology Group, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia
https://orcid/org/0000-0002-6920-471X
alina_meotida@mail.ru

Исследовательская статья

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-118

Совершенствование технологии возделывания нового гибрида кукурузы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Хасан Шамсадинович Тарчоков
E-mail: ishkbntsran@yandex.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Тарчоков Х.Ш., Гаплаев М.Ш., Жекамухов М.Х. Совершенствование технологии возделывания нового гибрида кукурузы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):103-114. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-118 EDN WIMABF

ПОСТУПИЛА: 08.05.2026
ДОРАБОТАНА: 14.07.2026
ПРИНЯТА: 14.08.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 30.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Тарчоков Х.Ш., Гаплаев М.Ш., Жекамухов М.Х.

Х.Ш. Тарчоков [1], М.Ш. Гаплаев [2], М.Х. Жекамухов [1]

[1] Институт сельского хозяйства — филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук, Нальчик, Россия

[2] Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Грозный, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В Российской Федерации, и прежде всего в Северо-Кавказском федеральном округе, в полевом земледелии особое место занимает культура кукурузы различных направлений ее использования. Существенными факторами повышения урожайности зерна кукурузы являются чистота ее посевов от сорняков и ресурсоэнергоэкономные способы обработки почвы.

ЦЕЛЬ. Изучить влияние способов основной обработки почвы и системы гербицидов на зерновую продуктивность нового гибрида кукурузы и оценить влияние погодно-климатических факторов на численность и вредоносность сорно-полевого сообщества посевам культуры на зерно в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводились на кукурузе гибрида Атлант СВ. Фенологические наблюдения осуществляли по общепринятым методикам. Учеты численности сорняков проводили количественным методом трехкратно (экз/м^2) в фазе 3–5 листьев кукурузы, спустя 28–30 дней после первого учета, количественно-весовым методом перед уборкой урожая зерна.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В посевах кукурузы был установлен сложный тип засоренности с малолетними злаковыми (лисохвост полевой — *Alopecurus agrestus* L., просо куриное — *Echinochloa crus-galli* L., виды щетинников — сизый — *Setaria glauca* L. и зеленый — *Setaria virioles* P.B.) и двудольными (амброзия полыннолистная — *Ambrosia artemisiaflia* L., дымянка лекарственная — *Fumaria officinalis* L., марь белая — *Chenopodium album* L.) группами. В меньшей степени была многолетняя злаково-двудольная группа: гумай — *Sórghum halepénse* L., виды осотов — розовый *Cirsium arvense* L. и желтый — *Sonchus arvensis* L., вьюнок полевой — *Convolvulus arvensis* L.). Погодные условия оказывали значительное влияние на величину урожайности зерна кукурузы. В 2023 году, характеризовавшемся значительным выпадением садков (509,6 мм), превосходившем среднемноголетние данные (норма) на 39,6 мм, зерновая продуктивность кукурузы по вариантам опыта была наивысшей (6,9 т/га). В 2022 и 2024 гг., где количество выпавших осадков составило в среднем 348,8 и 360,2 мм, урожайность зерна не превышала 6,53 и 6,70 т/га соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки и применения системы использования гербицидов различного спектра селективности в борьбе с сорняками на посевах нового гибрида кукурузы Атлант СВ на фоне ресурсосберегающих способов основной обработки почвы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кукуруза, обработка почвы, гербициды, засоренность посевов, урожайность зерна, степная зона Кабардино-Балкарии

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-118

Improving cultivation technology for a new maize hybrid in the steppe zone of Kabardino-Balkaria

CORRESPONDENCE:
Hasan Sh. Tarchokov
E-mail: ishkbntsran@yandex.ru

FOR CITATION:
Tarchokov H.Sh., Gaplaev M.Sh., Zhekamukhov M.Kh. Improving cultivation technology for a new maize hybrid in the steppe zone of Kabardino-Balkaria. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3): 103-114. (In Russ.) https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-118

RECEIVED: 08.05.2026
REVISED: 14.07.2026
ACCEPTED: 14.08.2026
PUBLISHED ONLINE: 30.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Tarchokov H.Sh., Gaplaev M.Sh., Zhekamukhov M.Kh.

Hasan Sh. Tarchokov ✉[1], Magomed Sh. Gaplaev [2], Magomed Kh. Zhekamukhov [1]

[1] Institute of Agriculture — Branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia

[2] Chechen Scientific Research Institute of Agriculture, Grozny, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In the Russian Federation, and particularly in the North Caucasus, maize (*Zea mays* L.) occupies a special place in field cropping systems due to its diverse application. The main factors enhancing maize grain yield are weed-free crop stands and resource- and energy-saving tillage practices.

AIM. To evaluate the effects of primary tillage methods and herbicide regimes on the grain productivity of a new maize hybrid, and to assess the influence of weather and climatic factors on the abundance and harmfulness of the weed community in grain maize crops under the conditions of the steppe zone of the Kabardino-Balkarian Republic.

MATERIALS AND METHODS. The study was conducted on the Atlant SV maize hybrid. Phenological observations were carried out according to standard procedures. Weed counts were performed three times using the quantitative method (individuals per m²) at the 3- to 5-leaf stage of maize, repeated 28–30 days after the first count, and finally by the quantitative-weight method just prior to grain harvest.

RESULTS. A complex pattern of weed infestation was recorded in the maize stands. The weed community included annual grasses: *Alopecurus agrestis* L., *Echinochloa crus-galli* L., and two bristlegrass species: *Setaria glauca* L. and *Setaria viridis* P.B., as well as dicotyledonous weeds: *Ambrosia artemisiifolia* L., *Fumaria officinalis* L., and *Chenopodium album* L.. To a lesser extent, perennial grass-dicotyledonous weeds were present, namely *Sorghum halepense* L., *Cirsium arvense* L., *Sonchus arvensis* L., and *Convolvulus arvensis* L. Weather conditions had a significant impact on maize grain yield. In 2023, which was characterized by abundant precipitation (509.6 mm, exceeding the long-term average by 39.6 mm), grain productivity was the highest across all experimental treatments, reaching 6.9 t ha^{-1}. In 2022 and 2024, with total rainfall of 348.8 and 360.2 mm, respectively, grain yields did not exceed 6.53 and 6.70 t ha^{-1}.

CONCLUSION. The obtained results indicate the necessity of developing and applying a system of herbicides with different selectivity spectra for weed control in crops of the new Atlant SV maize hybrid, combined with resource-saving primary tillage methods, under the steppe zone conditions of Kabardino-Balkaria.

KEYWORDS: maize, primary tillage, herbicides, weed infestation, grain yield, Kabardino-Balkarian steppe zone

ВВЕДЕНИЕ

В Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.), утвержденной распоряжением Председателя Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р, указывается, что в отрасли земледелия основным направлением фундаментальных и поисковых исследований должно быть: «Оптимизация сельскохозяйственного природопользования, агроэкологическая оценка земель, создание научно обоснованных адаптивных систем земледелия и агротехнологий нового поколения, обеспечивающих производство растениеводческой продукции заданного количества и качества» *. Для того чтобы сельхозтоваропроизводителям всех форм собственности успешно реализовать задачи, выдвигаемые в данной программе, необходимо получать высокие валовые сборы зерна в соответствующих агроландшафтах страны, в том числе и республиках Центральной части Северо-Кавказского федерального округа (Чечня, Ингушетия, Ставропольский край, РСО–Алания, Кабардино-Балкария и др.). В этой связи особое значение приобретает кукуруза — ведущая культура в севооборотах различного направления (кормовом, зернопропашном, монокультуре и др.). Кукурузное зерно относится к наиболее ценным в кормовом балансе животных и птицы по питательности, усвояемости и энергоемкости [1–3].

В настоящее время значительная доля зернового баланса в Российской Федерации находится в пределах 5,0–7,0, а в кормовом — 32,0–35,0 %. О высокой степени ценности кукурузы в республиках Северо-Кавказского региона свидетельствует то положение, когда ее посевы в 2020 г. составили 21,0 % ее площади против данных 17,9 % в 2019 г. [4]. Однако валовые сборы зерна кукурузы в обозначенном регионе должны происходить не за счет увеличения площадей посева культуры, а через методы повышения культуры земледелия в целом. Сюда входят способы усовершенствования обработки почвы, снижение вреда, наносимого сорно-полевым сообществом растениям кукурузы агротехническими и химическими методами. Сорные растения отнимают у культуры влагу, свет, питательные вещества, угнетают ее, и в значительной степени снижается урожайность защищаемых культур [5; 6]. В результате этого продуктивность полевых севооборотов с посевами кукурузы во многом зависит также и от способов обработки почвы [7–9]. В подтверждение этого явления можно указать на то, что площадь эродированных и эрозионно- и дефляционно-опасных почв на пашне в Российской Федерации составляет около 85,0 млн/га и она ежегодно увеличивается [10]. Основная причина указанного явления — пресловутый шаблон, обработка почвы с оборотом пласта на одну и ту же глубину там, где этого делать нельзя, нарушение принятых севооборотов.

Следует отметить, что в последнее время проводятся исследования по введению в производство новых систем земледелия: точное, биологическое и органическое. Однако в практическом земледелии способы обработки почвы под посевы полевых культур проводятся без учета особенностей ботанического состава сорных растений. Так, например, культурная вспашка на участках с преобладанием многолетних (корневищных и корнеотпрысковых) сорняков проводится без предварительного лущения стерни дисковыми орудиями. Зачастую не применяют простые, но в то же время экономичные способы (прикатывание посевов + боронования до- и после посевов и по всходам культуры) в борьбе с малолетними сорняками семенного произрастания [11–13]. И это все делается под «флагом» экономии средств, затрачиваемых на топливо, оплату работы и т. д.

Одной из существенных проблем на кукурузном поле региона все еще остается отрицательное влияние сорно-полевого компонента в технологиях возделывания культуры [14; 15]. Особое значение при этом приобретают действующие вещества используемых гербицидов, относящиеся к различным химическим классам [16]. В исследованиях ряда авторов выявлена также дозозависимость гербицидов на различных фонах обработки почвы. Так, например, при вспашке почвы более эффективны их повышенные дозы, способствующие увеличению урожайности культуры [17]. Из общей площади пашни в Кабардино-Балкарии (немногим более 280,0 тыс. га) 220 тыс. га имеют низкое содержание гумуса — в среднем 3,6 %.

* Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-р «Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы)». Текст: электронный // Гарант: информационно-правовой портал. URL: htpps:www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400070256/ (дата обращения: 11.04.2026).

Для восстановления положительного баланса гумуса на этих землях необходимо вносить на каждый га не менее 8–10 т органических удобрений. В то же время успешное функционирование резервов земледелия следует искать в особенностях адекватности систем различным факторам — климатическо-ландшафтным и почвенным условиям [18–20].

По данным академика В. И. Кирюшина [21], к методам рационального использования почв относятся критерии выбора ее обработки — требование культуры к плотности почв и условия засоренности обрабатываемых полей. В зависимости от степени и характера засоренности полей сорняками различные механические обработки комбинируют с внесением гербицидов с целью снижения, возможно, и полного исключения их вредоносности.

Учитывая изложенное, цель наших исследований заключалась в усовершенствовании некоторых элементов (способы основной обработки почвы, приемы ухода в борьбе с сорняками) с определением наиболее эффективных дозировок в борьбе с сорняками на посевах нового гибрида кукурузы Атлант СВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы и оборудование

В качестве объекта исследований в опытах был новый гибрид кукурузы Атлант СВ совместной селекции ИСХ КБНЦ РАН и ВНИИ кукурузы. Допущен к использованию в Северо-Кавказском (6) регионе Российской Федерации, районирован в 2025 году. Трехлинейный среднепоздний гибрид (ФАО-400) универсального назначения (зерно и силос). Длина вегетационного периода 117–125 суток, высота растений — 310–330 см, форма початка слабо конического типа и красной окраской стержня початка. Количество рядов на початке 16–18. Зерно зубовидное, желтой и желто-оранжевой окраски. Выход зерна 84–86 %, выполненность початка 96 %. На высоком агрофоне и орошении склонен к образованию вторых початков. Масса 1000 зерен 340–350 г. Уборочная влажность зерна не более 14–16 %. Метелка средняя с высокой пыльцевой продуктивностью и устойчивостью к ломкости. Устойчив к пыльной и пузырчатой головне, стеблевым гнилям, фузариозу и гельминтоспориозу. Устойчивость к поражению стеблевым мотыльком — выше среднего, устойчив к полеганию. При внесении удобрений и орошении гибрид способен формировать урожайность 11,5–12,5 т/га сухого зерна и силосной массы до 65,0 т/га. Рекомендуемая густота стеблестоя — 50–55 тыс. раст/га на богаре и 60–65 тыс. раст/га на орошении к уборке урожая. Рекомендован для возделывания на зерно и силос в Кабардино-Балкарии, Северной Осетии–Алании, Чечне, Ингушетии, Дагестане, Краснодарском, Ставропольском краях, Ростовской области. На силос — в Белгородской, Воронежской, Курской, Тамбовской, Орловской и Липецкой областях. На зерно и силос — в Брянской, Владимирской, Ивановской, Калужской, Московской, Рязанской, Смоленской областях.

На фоне различных способов основной обработки почвы в опыте изучалась система гербицидов различного спектра действия на сорняки и защищаемую культуру. Это Фултайм, МД трехкомпонентный препарат (745+37,5+17,5 г/л) АО фирмы «Август» с рекомендуемой дозой применения 1–2 л/га против однолетних и многолетних двудольных и злаковых сорняков методом опрыскивания растений в фазе 3–6 листьев культуры. Гамбит, СК (500 г/л) АО фирмы «Август», доза использования 2,0–3,5 л/га методом опрыскивания почвы до всходов культуры с расходом рабочего раствора 100–300 л/га против малолетних двудольных и некоторых злаковых сорняков [22]. Подавляет сорняки в момент их произрастания или в течение 5–7 дней при применении после появления их всходов, период защитного действия составляет 10–12 недель в зависимости от погодных условий, отсутствие последействия на последующие культуры в севооборотах (*«Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2022 год» (утв. Минсельхозом России).*

В полевых условиях для обработки почвы применялась следующая техника:

— ПЛН04-35 — навесной 4-корпусный плуг с шириной захвата корпуса — 35 см, глубина пахоты — 30 см, рабочая скорость — до 12 км/ч, масса — 660 кг, агрегатируемые тракторы — ДТ-75, Т-150;
— КПГ-2,2 — культиватор-глубокорыхлитель-удобритель, применяют для основной безотвальной обработки и рыхления почвы на глубину 25–30 см, снабжен двумя лапами шириной захвата 11 см, бункер вместимостью 450 л. Ширина культиватора — 2,15 м, рабочая скорость до 10,0 км/ч, производительность — 1,4 га/ч. Агрегатируют с тракторами ДТ-75 и Т-4А, сцепку из двух культиваторов агрегатируют с тракторами К-701;

— ПЛН-4-35-корпус с почвоуглубителем — используется для отвальной вспашки маломощных черноземов с одновременным углублением пахотного слоя на 6–15 см. Стрельчатая почвоуглубительная лапа, установленная позади корпуса и ниже лемеха, разрушает плужную «подошву», рыхлит дно вскрытой корпусом борозды, что исключает перемещение пахотного слоя с подпахотным. Корпуса с почвоуглубителями устанавливают на плугах общего назначения.

В периоды проведения исследований пользовались современными лабораторными приборами и оборудованием. Это зерновая лабораторная мельница «Вьюга», весы аналитические «ОНАИS», пурка литровая ПХ-3, спектрофотометр В-1100, пламенный фотометр ФПА-2-01, влагомер-масломер ВМЦЛ — 12М, термостат суховоздушный ТСО-1/80 СПУ, pH-метр-150м, шкаф сушильный СЭШ-3м-02, водяная баня-термостат с перемешиванием WB-4MS, мельница зерновая лабораторная ЛЗМ-М, термостат для проращивания семян ТСО-1м, влагонатуромер зерна WILE-200, микроскоп.

Методика проведения исследований

Исследования проводили в 2022–2024 гг. в стационарном полевом севообороте короткой ротации, расположенном на экспериментальном поле лаборатории технологии возделывания основных полевых культур в ИСХ КБНЦ РАН. Почва опытного участка — обыкновенный (карбонатный) чернозем тяжелосуглинистого гранулометрического состава. В пахотном слое (0–20 см) содержалось: гумуса — 3,0–3,5 %, P_2O_5 (по Мачигину) — 0,14–0,27 %, K_2O (по Мачигину) — 2,0–2,6 %, pH 6,8–7,0. Среднегодовое количество осадков — 360–400 мм.**

Опыты заложены в 4-кратной повторности с расположением вариантов систематическим методом в два яруса. Площади делянок составляли: общая — 62, учетная — 31 м^2. Урожай зерна кукурузы определяли методом ручной ломки учетной площади делянок в килограммах с последующим переводом данных в т/га стандартных кондиций. Эффективность системы гербицидов в борьбе с сорняками сравнивалась с данными хозяйственного контроля, состоящего из двух рыхлений междурядий (УСМК-5,6) посевов кукурузы ***.

В годы исследований погодные условия несколько отличались от нормы среднемноголетних показателей (таблица 1).

Таблица 1
Метеорологические показатели за годы проведения исследований (по данным агрометеорологического поста «Куян», пос. Опытный Терского района КБР)

Table 1
Meteorological indicators over the research years (according to the Kuyan agrometeorological post, Opytniy settlement, Tersk district, Kabardino-Balkaria)

Год	Осадки, мм	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
2022	348,8	12,7	78,0
2023	509,6	12,5	78,0
2024	360,2	12,8	76,0
Среднемноголетние данные (норма)	470,0	10,1	77,0

Количество выпавших осадков в 2023 г. превышало среднемноголетние данные (норма) на 39,6 мм, средняя температура воздуха за годы проведения исследований была выше нормы на 2,4–2,7 °С. Относительная влажность воздуха (76,0–78,0 %) была на уровне среднемноголетних (77,0 %). Средние данные по выпавшим осадкам в 2022 и 2024 гг. были ниже нормальных результатов на 109,8 и 121,2 мм соответственно.

За период вегетации посевы кукурузы поливали три раза напуском по бороздам оросительной общей нормой 1540 м^3/га. Различные способы (фактор А) основной обработки почвы включали:

1) отвальную вспашку плугом ПЛН-4-35 на глубину 28–30 см;
2) безотвальную плоскорезную КПГ-2,2 на глубину 28–30 см без оборота пласта;
3) отвальную вспашку ПЛН-4-35 с почвоуглубительными лапами на глубину 28–30 + почвоуглубление, рыхление дна вскрытой борозды на 6–10 см.

** Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.; Воеводин А. В., Каспиева Т. А., Петунова А. А. и др. Методические указания по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве. М., 1981. 46 с.

*** Голубев А. С., Маханькова Т. А., Долженко В. И. Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. Санкт-Петербург : ФГБНУ ВИЗР, 2020. 80.

Гербицидный фактор (фактор В) включал четыре варианта:

1) Контроль (без гербицидов);
2) Гамбит – 2,0 л/га, внесенный на поверхность почвы под «слепое» боронование за 2–3 дня до появления всходов культуры;
3) Фултайм – 2,0 л/га методом опрыскивания растений в фазе 3–5 листьев кукурузы;
4) Гамбит – 1,0 л/га, внесенный под «слепое» боронование + Фултайм – 1,0 л/га методом опрыскивания растений в фазе 3–5 листьев кукурузы. Засоренность посевов (кол-во и % их гибели) учитывали 3 раза: перед внесением гербицидов (фаза 3–5 листьев кукурузы, спустя 28–30 дней после их внесения и перед уборкой урожая зерна культуры).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Технология возделывания орошаемой кукурузы – общепринятая для данной зоны республики. Большую часть минеральных удобрений ($N_{30}P_{90}K_{60}$) вносили осенью согласно схеме опыта. Аммиачную селитру (30,0 кг/га) в качестве подкормки вносили в фазе 3–5 листьев кукурузы под обработкой междурядий.

Проведенные наблюдения и учеты на посеве кукурузы выявили более 20 видов сорняков различных ботанических семейств. Иногда были годы, когда доминировали многолетники — гумай (*Sorhum halepense* (L.) *Pers*), виды осотов — розовый (*Wirsiium arvense* L.) и желтый (*Sonchus arvensis* L.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), свинорой пальчатый (*Cynodon dacylon* L.). В условиях орошения республик Северо-Кавказского региона данная группа сорных растений относится к наиболее вредоносной, снижая урожайность кукурузы и других пропашных культур более чем на 70,0–78,0 %. Группа малолетних (двудольно-злаковая) состояла в основном из таких видов, как амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiaflia* L.), дымянка лекарственная (*Fumaria officinalis* L.), лисохвост полевой (*Alopecurus agrestus* L.), просо куриное (*Echinochloa crus galli* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), виды щетинников — сизый (*Setaria glauca* L.) и зеленый (*Setaria virioles* P.B.).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что на варианте с культурной вспашкой на фоне контроля (без применения химпрополки) к периоду уборки урожая зерна кукурузы количество сорняков было 180,0 экз/м^2, а сухая надземная их масса была на уровне 95,0 г/м^2 (таблица 2).

Таблица 2
Эффективность способов основной обработки почвы и системы гербицидов в борьбе с сорняками в посевах кукурузы (в среднем за 2022–2024 гг.)

Table 2
Effectiveness of basic tillage methods and herbicide systems in weed control in maize crops (average for 2022–2024)

Способ основной обработки почвы (фактор А)	Система гербицидов, л/га (фактор В)	Количество сорняков на 1 м^2 перед уборкой урожая:		
		Всего, экз.	% гибели	Сухая надземная масса, г
Отвальная вспашка ПЛН-4-35 (контроль)	Контроль (хозяйственный)	180	–	95
	Гамбит – 2,0 л/га	70	61,1	60
	Фултайм – 2,0 л/га	40	77,8	32
	Гамбит + Фултайм – 1,0:1,0 л/га	13	92,0	15
Безотвальная плоскорезная КПГ-2,2	Контроль (хозяйственный)	190	–	98
	Гамбит – 2,0 л/га	68	64,2	53
	Фултайм – 2,0 л/га	35	81,6	30
	Гамбит + Фултайм – 1,0:1,0 л/га	10	94,7	11
ПЛН-4-35 со стрельчатой лапой – почвоуглубителем	Контроль (хозяйственный)	170	–	93
	Гамбит – 2,0 л/га	70	58,8	59
	Фултайм – 2,0 л/га	32	81,2	30
	Гамбит + Фултайм – 1,0:1,0 л/га	11	93,5	12

При внесении в почву гербицида Гамбит в дозе 2,0 л/га перед всходами культуры и Фултайма в такой же дозировке, но по всходам в фазе 3–5 листьев количество сорняков существенно снижается до 40,0–70,0 экз/м^2 при незначительной сухой массе, не превышающей 30,0–60,0 г/м^2.

Однако применение этих препаратов на одном и том же участке (Гамбит — 1,0 л/га в почву перед всходами кукурузы и Фултайм — 1,0 л/га по всходам в фазе 3–5 листьев культуры) обеспечивает гибель сорняков на 92,0–94,7 % независимо от способа основной обработки почвы. Высокая техническая эффективность гербицидов подтверждается незначительным количеством (11,0–15,0 г/м^2) надземной сухой массы сорных растений к уборке урожая зерна кукурузы.

Исследования показали, что испытанные способы основной обработки почвы (фактор А) без применения химпрополки не оказывали существенного влияния на уровень засоренности посевов культуры. В среднем за годы проведения работ эти результаты занимали пределы 170,0–190,0 экз. при их надземной сухой массе 93,0–98,0 г/м^2 к периоду завершения вегетации кукурузы. Подобное явление сопровождалось формированием различной величины урожайности зерна кукурузы (таблица 3).

Так, из приведенных данных видно, что применяемая в опыте система гербицидов (фактор В), с высоким эффектом подавляя сорняки, способствует повышению урожайности зерна от 6,03–6,30 на контроле до 6,6–7,4 т/га. Сохраненное от потерь количество зерна составляет 0,3–1,1 т/га. Однако существенное влияние на урожайность зерна кукурузы на фоне различных приемов ухода и способов основной обработки почвы оказывали и погодные условия проведения исследований. Так, в 2023 году количество выпавших осадков (509,6 мм) было выше среднемноголетних данных на 39,6 мм. На данном фоне и количество зерно-продукции составило пределы 6,5–7,5 т/га. По результатам 2022 и 2024 гг. выпавшие осадки не превышали 348,8 и 360,2 мм соответственно против среднемноголетних — 470,0 мм. Средняя урожайность зерна в указанные годы составляла всего 6,3 и 7,4 т/га.

Таблица 3
Эффективность системы гербицидов на фоне способов основной обработки почвы под посевы кукурузы

Table 3
The effectiveness of the herbicide system against the background of basic tillage methods for maize crops

Способ основной обработки почвы, (фактор А)	Система гербицидов, л/га (фактор В)	Урожайность, т/га по годам			Средн. за 3 года	±к контр. от		Окупаемость гербицидов прибавкой урожая, ц/л
		2022	2023	2024		обработ. почвы	гербицидов	
Отвальная вспашка ПЛН-4-35 (контроль)	Контроль (хозяйственный)	6,1	6,3	6,0	6,13	0,0	0,0	0,0
	Гамбит – 2,0 л/га	6,4	6,8	6,7	6,63	0,0	+0,50	2,5
	Фултайм – 2,0 л/га	6,6	7,0	6,8	6,80	0,0	+0,67	3,4
	Гамбит + Фултайм – 1,0:1,0 л/га	6,8	7,3	7,0	7,03	0,0	+0,90	4,5
Безотвальная плоскорезная КПГ-2,2	Контроль (хозяйственный)	6,0	6,1	6,0	6,03	-0,10	0,0	0,0
	Гамбит – 2,0 л/га	6,3	6,5	6,6	6,47	-0,16	+0,44	2,2
	Фултайм – 2,0 л/га	6,7	6,9	6,7	6,77	-0,03	+0,74	3,7
	Гамбит + Фултайм – 1,0:1,0 л/га	6,8	7,4	7,1	7,10	+0,07	+1,07	5,4
ПЛН-4-35 со стрельчатой лапой-почвоуглубителем	Контроль (хозяйственный)	6,2	6,4	6,3	6,30	+0,17	0,0	0,0
	Гамбит – 2,0 л/га	6,6	7,0	6,9	6,83	+0,20	+0,53	2,6
	Фултайм – 2,0 л/га	6,8	7,2	6,9	6,97	+0,17	+0,14	0,7
	Гамбит + Фултайм – 1,0:1,0 л/га	7,0	7,5	7,4	7,30	+0,27	+1,00	5,0
НСР по факторам:	A	0,20	0,18	0,22	–	–	–	–
	B	0,23	0,20	0,23	–	–	–	–

Величина урожайности зерна культуры в среднем за три года была наибольшей (7,30 т/га) на фоне системы гербицидов, состоящей из Гамбита и Фултайма, в дозе по 1,0 л/га (вариант № 4) на фоне основной обработки почвы ПЛН-4-35 со стрельчатой лапой-почвоуглубителем. На данном варианте стрельчатая лапа-почвоуглубитель разрушает «плужную подошву», имеющую место на предкавказских (карбонатных) черноземах тяжелого гранулометрического состава, формируется благоприятный дополнительный источник элементов питания и влаги для растений кукурузы.

Урожайные данные, полученные на фоне с безотвальной плоскорезной обработкой КПГ-2,2 в среднем за годы исследований (6,03–7,10 т/га) не уступали показателям варианта с отвальной вспашкой (6,13–7,03 т/га). Незначительные отклонения урожайности (0,07 т/га) по сравнению с контролем не существенны и не выходят за пределы ошибки опыта.

Поэтому в условиях сложного типа засоренности посевов в агротехнологиях выращивания кукурузы на зерно основная роль отводится применению системы гербицидов различных спектров действий. Наиболее высокая окупаемость (дополнительная прибавка урожая зерна, которая приходится на каждый литр израсходованных препаратов) зафиксирована у Гамбита и Фултайма по 1,0 л/га, внесенных в почву перед всходами и по всходам в фазе 3–5 листьев культуры (5,0–5,4 ц/л), соответственно.

Использование подобного сочетания гербицидов наряду с сорняками особой вредоносности – многолетниками (гумай, виды осотов, свинорой пальчатый, пырей ползучий) с высоким эффектом подавляет в посевах нового гибрида кукурузы Атлант СВ и многие виды из группы злаково-двудольных малолетников (щетинники — сизый и зеленый, просо куриное, амброзия полыннолистная, марь белая, лисохвост полевой и др.).

Принимая во внимание результаты наших исследований целесообразно рекомендовать на предкавказских (карбонатных) черноземах на посевах кукурузы на зерно культурную вспашку плугами ПЛН-4-35, снабженными стрельчатыми лапами-почвоуглубителями. На этом фоне применение системы гербицидов (Гамбита и Фултайма по 1,0 л/га) сохранит от потерь до 1,0 т/га зерна по сравнению с контролем без химпрополки, будет обеспечена высокая чистота посевов, что экономически выгодно и экологически безопасно (таблица 4).

Рыночная стоимость зерна кукурузы в 2024–2025 гг. в республиках Северо-Кавказского региона — 9,50 руб/кг.

Как видно их приведенных данных, стоимость валовой продукции на варианте с применением гербицидов почвенного (Гамбит, СК) и повсходового (Фултайм, МД) действий на фоне основной обработки почвы (отвальная вспашка (ПЛН-4-35) дооборудованными стрельчатыми лапами-почвоуглубителями составила 69,350 руб/га. Чистый доход на данном варианте составил 67 830 руб/га при уровне рентабельности 186,0 %.

Таблица 4
Экономическая эффективность приемов ухода в борьбе с сорняками на посевах кукурузы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии (среднее за 2022–2024 г.)

Table 4
Economic efficiency of weed control techniques in maize crops in the steppe zone of Kabardino-Balkaria (average for 2022–2024)

Способ основной обработки почвы (фактор А)	Прием ухода (фактор В)	Урожайность, т/га	Стоимость валовой продукции	Произв. затраты на 1 га, руб.	Чистый доход, руб/га	Рентабельность, %
Отвальная вспашка ПЛН-4-35 (контроль)	Контроль (хозяйственный)	6,13	58 235	15 170	16 587	109,0
	Гамбит – 2,0 л/га	6,63	62 985	36 780	44 205	120,0
	Фултайм – 2,0 л/га	6,80	64 600	36 580	46 020	126,0
	Гамбит+ Фултайм – 1,0:1,0 л/га	7,03	66 785	36 520	48 265	132,0
Отвальная вспашка ПЛН-4-35 с почвоуглубителем	Контроль (хозяйственный)	6,30	59 850	15 170	42 680	281,0
	Гамбит – 2,0 л/га	6,83	64 885	36800	46 085	125,0
	Фултайм – 2,0 л/га	6,97	66 215	36 680	47 535	130,0
	Гамбит + Фултайм – 1,0:1,0 л/га	7,30	69 350	36 520	67 830	186,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье была изучена эффективность системы гербицидов на фоне различных способов основной обработки почвы под посевы нового гибрида кукурузы Атлант СВ в условиях степной зоны Кабардино-Балкарской Республики. Полученные результаты исследований показали, что урожайность зерна кукурузы была наиболее существенной (7,30 т/га), где применяли Гамбит и Фултайм по 1 л/га при условии использования их на варианте с основной обработкой почвы ПЛН-4-35 со стрельчатой лапой-почвоуглубителем. Была достигнута высокая техническая (93,5 % гибели сорняков) и хозяйственная (окупаемость, прибавка урожая зерна — 5,0 ц/л) эффективность. Согласно результатам наших исследований, целесообразно рекомендовать внедрение разработанной методики и в других республиках Северо-Кавказского региона с аналогичными природно-климатическими условиями.

Вклад авторов:

Х. Ш. Тарчоков: проведение исследования, разработка программного обеспечения, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

М. Ш. Гаплаев: курирование данных, формальный анализ.

М. Х. Жекамухов: научное руководство, предоставление ресурсов, рецензирование и редактирование.

Contributions:

H. Sh. Tarchokov: investigation, software, writing – review & editing.

M. Sh. Gaplaev: data curation, formal analysis.

M. Kh. Zhekamukhov: supervision, resources, review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Al-Dokhi A.H., Al-Harawi K.J., Khalaf S.A. The role of internet in disseminating modern agricultural technologies related to yellow corn crops from the perspective of agricultural employees in Al-Alam District / Salahaddin Province in Iraq. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3). https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-119
2. Tang Rui, Zelong Zhuang, Jianwen Bian, et al. GWAS and Meta-QTL Analysis of Kernel Quality-Related Traits in Maize. *Plants*. 2024;13(19):2730. https://doi.org/10.3390/plants13192730
3. Fraiwan M., Faouri E., Khasawneh N. Classification of Corn Diseases from Leaf Images Using Deep Transfer Learning. *Plants*. 2022;11(20):2668. https://doi.org/10.3390/plants11202668
4. Власова О.И., Передериева В.М., Шабалдас О.Г., и др. Зависимость урожайности гибридов кукурузы от приемов обработки почвы при возделывании в зоне неустойчивого увлажнения. *Земледелие*. 2023;(3):33-36. https://doi.org/10.24412/00 44-3913-2023-6-33-36
   Vlasova O.I., Perederieva V.M., Shabaldas O.G., et al. Dependence of corn hybrids yield on soil tillage methods when cultivation in a zone of unstable moisture. *Zemledelie*. 2023;(3):33-36. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/00 44-3913-2023-6-33-36
5. Мороз В.В. На страже Омского урожая. *Защита растений*. 2024;6:3-11. EDN: TDUXTG
   Moroz V.V. Safeguarding the yield in the Omsk region. *Plant protection.* 2024;6:3-11. (In Russ.) EDN: TDUXTG
6. Тарчоков Х.Ш. Пути повышения устойчивого производства зерна кукурузы в КБР. *Зерновое хозяйство России*. 2009;6:21-27. EDN: MULTAH.
   Tarchokov H.S. Increasing ways of stable production in Kabardino-Balkaria. *Grain Economy of Russia*. 2009;6:21-27. (In Russ.) EDN: MULTAH.
7. Тютюнов С.И., Цыгуткин А.С., Навольнева Е.В., и др. Продуктивность севооборотов под действием разных агротехнологических приемов в условиях юго-западной части Центрально-Черноземной зоны. *Аграрная Россия*. 2023;9:16-19. https://doi.org/10.30 906/1999-5636-2023-9-16-19

8. Tyutyunov S.I., Tsygutkin A.S., Navolneva E.V., et al. Productivity of crop rotations under the influence of various agrotechnical techniques under the conditions of the south-western part of the Central Chernozem zone. *Agrarian Russia.* 2023;9:16-19. (In Russ.) https://doi.org/10.30 906/1999-5636-2023-9-16-19
9. Мальцев И.Г., Эседуллаев С.Т., Лощина А.Э. Влияние технологий обработки почвы и гербицидов на засоренность и продуктивность сельскохозяйственных культур. *Защита и карантин растений*. 2019;3:12-16. EDN: MQKOAV.
   Maltsev I.G., Esedullaev S.T., Loshchina A.E. The impact of tillage technologies and herbicides on weediness and productivity of crops. *Protection and Guarantine of Plants*. 2019;3:12-16. (In Russ.) EDN: MQKOAV
10. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования. *Агрохимия*. 2020;6:3-13. https://doi.org/10.31857/So002188120060125
    Sychev V.G., Shafran S.A., Vinogradova S.B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation. *Agrochemistry.* 2020;6:3-13. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/So002188120060125
11. Смирнова Л.Г., Кувшинова А.А., Евдокименкова М.И., и др. Внутрипольное зонирование эрозионных агроландшафтов для использования в технологии точного земледелия. *Достижения науки и техники АПК*. 2023;7(37):14-18. https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_7_14
    Smirnova L.G., Kuvshinova A.A., Evdokimenkova M.I., et al. Indoor zoning of erosive agrolandscapes for use in precision farming technology. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2023;7(37):14-18. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_7_14
12. Тарчоков Х.Ш., Бжинаев Ф.Х., Чочаев М.М., и др. Приемы борьбы с сорняками на посевах кукурузы в условиях предгорной зоны КБР. *Научно-технический и социально-экономический потенциал развития АПК РФ : сборник материалов II Международной научно-практической конференции.* Нальчик, 12 декабря 2024 года. С. 201-207. ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ им. В. М. Кокова, 2024;201-207. EDN: SYHMFV.
    Tarchokov H.S., Bzhinaev F.H., Chochaev M.M., et al. Methods of weed control on corn crops in the conditions of the foothill zone of the KBR. *Scientific, technical and socio-economic potential of the Development of the Agro-industrial Complex of the Russian Federation: Collection of Materials of the II International Scientific and Practical Conference.* Nalchik, December 12, 2024.201-207. Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov, 2024;201-207. (In Russ.) EDN: SYHMFV.
13. Тарчоков Х.Ш., Чочаев М.М., Бжинаев Ф.Х. Химпрополка посевов при возделывании гибрида кукурузы Карат СВ в степной зоне КБР. *Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : сборник докладов VI Международной научно-практической конференции.* Курск, 26–28 июня 2024 года. Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2024. С. 378-383. EDN JYFJOZ.
    Tarchokov Kh.Sh., Chochaev M.M., Bzhinaev F.H. Chemical treatment of crops during cultivation of a hybrid of corn Karat SV in the steppe zone of the CBD. *Problems and Prospects of Scientific and Innovative Support of the Agro-industrial Complex of the Regions : Collection of Reports of the VI International Scientific and Practical Conference.* Kursk, June 26–28, 2024. Kursk : Kursk Federal Agrarian Research Center, 2024.378-383. (In Russ.) EDN JYFJOZ.
14. Передериева В.М., Власова О.И., Дорожко Г.Р., и др. Влияние многолетнего использования различных способов основной обработки почвы под озимую пшеницу на сорный компонент агрофитоценоза. *Земледелие*. 2023;6:29-33. https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-29-33
    Perederieva V.M., Vlasova O.I., Dorozhko G.R., et al. The influence of long-term use of various methods of tillage for winter wheat on the weed component of agrophytocenosis. *Zemledelie.* 2023;6:29-33. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-6-29-33
15. Оказова З.П. Вредоносность сорнополевого компонента в посевах кукурузы. *Международный сельскохозяйственный журнал.* 2023;2(392):197-199. https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_2_197
    Okazova Z.P. Harmful weed component in corn crops. *International Agricultural Journal.* 2023;2(392):197-199. (In Russ.) https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_2_197
16. Завалин А.А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия. *Земледелие*. 2024;2:25-29. https://doi.org/10.244 12/0044-3913-2024-2-25-29

Zavalin A.A. Problems and solutions of the technological development of agriculture. *Agriculture*. 2024;2:25-29. (In Russ.) https://doi.org/10.244 12/0044-3913-2024-2-25-29

17. Zaqar C., Liebi R., Teodorids G., et al. Protoporhyrinoqen IX oxidase inhibitors. *Modem Crop Protection Compounds.* 2019;3:173-211. https://doi.org/10.1002/9783527699261.ch3
18. Ihla A.J., Sinqh M., Sherqill L., et al. Very lonq chain fatty acid–inhibitinq herbicides: Current uses, site of action, herbicide-resistant weeds, and future. *Weed Technology.* 2024;38:1-16. https://doi.org/10.1017/wet.2023.90
19. Тарчоков Х.Ш. Борьба с сорняками в посевах семенной кукурузы на орошении. *Земледелие*. 2014;5:37-39. EDN: SUACNL.
20. Tarchokov H.S. Weed control in crops of seed corn for irrigation. *Zemledelie*. 2014;5:37-39. (In Russ.) EDN: SUACNL.
21. Гамзиков Г.П. Система No-till в сибирском земледелии: проблемы, реальности и перспективы. *Земледелие*. 2024;3:10-17. https://doi.org/10.34412/0044-3913-2024-3-10-17

    Gamzikov G.P. The No-till system in Siberian agriculture: problems, realities and prospects. *Zemledelie*. 2024;3:10-17. (In Russ.) https://doi.org/10.34412/0044-3913-2024-3-10-17
22. Тарчоков Х.Ш., Чочаев М.М. Земельный фонд и почвенные ресурсы Кабардино-Балкарии. *Земледелие*. 2013;8:7-9. EDN: RXONVL.

    Tarchokov Kh.Sh., Chochaev M.M. Land fund and soil resources of the Kabardino-Balkar Republic. *Zemledelie*. 2013;8:7-9. (In Russ.) EDN: RXONVL
23. Кирюшин В.И. *Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов*. М. : КолосС, 2011. 442.

    Kiryushin V.I. *Theory of Adaptive Landscape Agriculture and Design of Agricultural Landscapes*. Moscow : KolosS, 2011. 442. (In Russ.)
24. Голубев А.С., Борушко П.И. Эффективность нового отечественного гербицида Фултайм, МД в посевах кукурузы. *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2022;99:79-84. https://doi.org/10.21515/1999-1703-99-79-84

    Golubev A.S., Borushko P.I. Efficiency of new herbicide Fultime, od in corn. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2022;99:79-84. (In Russ.) https://doi.org/10.21515/1999-1703-99-79-84

Сведения об авторах

Тарчоков Хасан Шамсадинович —
кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Институт сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, Россия

https://orcid.org/0000-0002-6187-7354

SPIN-код: 1654-5614

ishkbntsran-npu2@yandex.ru

Гаплаев Магомед Шиблуевич —
доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Грозный, Россия

https://orcid.org/0000-0001-6638-6397

SPIN-код: 5871-2919

gaplaev63@list.ru

About the authors

Hasan Sh. Tarchokov —
Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia

https://orcid.org/0000-0002-6187-7354

ishkbntsran-npu2@yandex.ru

Magomed Sh. Gaplaev —
Dr. Sci. (Agric.), Chief Researcher, Chechen Scientific Research Institute of Agriculture, Grozny, Russia

https://orcid.org/0000-0001-6638-6397

gaplaev63@list.ru

Жекамухов Магомед Хасанович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Институт сельского хозяйства Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Нальчик, Россия
https://orcid.org/0000-0002-8762-0864
SPIN-код: 2962-5240
m.zhak.74@mail.ru

Magomed Kh. Zhekamukhov — Cand. Sci. (Agric.), Leading Researcher, Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia
https://orcid.org/0000-0002-8762-0864
m.zhak.74@mail.ru

Исследовательская статья

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-143

Влияние Лигногумата АМ на морфологию, урожайность и товарное качество плодов *Citrus reticulata* var. *unshiu* ‘Kowano Wase’ в условиях субтропиков России

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Александр Сергеевич Кулешов
E-mail: subtrop.alexandr24@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Горшков В.М., Кулешов А.С., Кулян Р.В. Влияние Лигногумата АМ на морфологию, урожайность и товарное качество плодов *Citrus reticulata* var. *unshiu* ‘Kowano Wase’ в условиях субтропиков России. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):115-124. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-143
EDN ZOBOHT

ПОСТУПИЛА: 27.07.2026
ДОРАБОТАНА: 03.09.2026
ПРИНЯТА: 03.09.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 30.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ:
Работа выполнена в рамках Государственного задания ФИЦ СНЦ РАН FGRW-2024-0003, регистрационный номер 124022000093-1.

COPYRIGHT: © 2026 Горшков В.М., Кулешов А.С., Кулян Р.В.

В.М. Горшков, А.С. Кулешов ✉, Р.В. Кулян

Субтропический научный центр Российской академии наук, Сочи, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях снижения плодородия почв и усиления абиотических стрессоров актуальным направлением является применение экологически безопасных биостимуляторов, в том числе гуминовых препаратов, способных повышать продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур. Особый интерес представляет их использование при возделывании цитрусовых, отличающихся высокой чувствительностью к условиям внешней среды. Влажные субтропики России характеризуются значительной изменчивостью температурного режима и влагообеспечения, что оказывает существенное влияние на рост, развитие и плодоношение мандарина. В связи с этим актуальным является поиск агроприемов, направленных на повышение адаптивного потенциала растений и стабилизацию урожайности.

ЦЕЛЬ. Оценка влияния пятикратной внекорневой обработки препаратом Лигногумат АМ на продуктивность и товарное качество плодов мандарина (*Citrus reticulata* var. *unshiu* ‘Kowano Wase’) в условиях влажных субтропиков России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Полевые опыты проводились в 2023–2025 гг. на базе Субтропического научного центра РАН (г. Сочи). Объектом исследования служили растения мандарина на подвое Citrus trifoliata, схема посадки 4×1,5 м. Обработки выполнялись в ключевые фенологические фазы развития растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что применение Лигногумата АМ обеспечивало устойчивое повышение урожайности во все годы исследований. Наибольший эффект отмечен в 2025 г., когда средняя урожайность достигала 12,8 кг/дерево (212,1 ц/га), что на 20–25 % превышало контроль. В стрессовых погодных условиях (жаркое и засушливое лето) препарат способствовал снижению потерь урожая, что свидетельствует о повышении адаптивного потенциала растений. Выявлено улучшение товарного качества продукции за счет увеличения доли плодов крупной фракции (≥60 мм) и снижения количества мелких плодов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Таким образом, пятикратное применение Лигногумата АМ является эффективным агротехническим приемом, обеспечивающим повышение урожайности, стабильность плодоношения и улучшение качества плодов мандарина в условиях субтропиков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Лигногумат АМ, урожайность мандарина, качество плодов, адаптивность растений

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-143

Effect of Lignohumate AM on morphology, yield and commercial quality of *Citrus reticulata* var. *unshiu* 'Kowano Wase' fruits under the subtropical conditions of Russia

CORRESPONDENCE:
Alexander S. Kuleshov
E-mail: subtrop.alexandr24@gmail.com

FOR CITATION:
Gorshkov V.M., Kuleshov A.S., Kulyan R.V. Effect of Lignohumate AM on morphology, yield and commercial quality of *Citrus reticulata* var. *unshiu* 'Kowano Wase' fruits under the subtropical conditions of Russia. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):115-124. (In Russ.) https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-143

RECEIVED: 27.07.2026
REVISED: 03.09.2026
ACCEPTED: 03.09.2026
PUBLISHED ONLINE: 30.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

ACKNOWLEDGEMENTS: This work was carried out under the State Assignment of the Federal Research Centre "Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences" (FGRW-2024-0003, registration No. 124022000093-1).

COPYRIGHT: © 2026 Gorshkov V.M., Kuleshov A.S., Kulyan R.V.

V.M. Gorshkov, A.S. Kuleshov, R.V. Kulyan

Subtropical Research Center of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Against the background of declining soil fertility and increasing abiotic stressors, the use of environmentally safe biostimulants, including humic preparations, represents a promising approach to enhance crop productivity and stress tolerance. Of particular interest is their application in citrus cultivation, given the high sensitivity of these crops to environmental conditions. The humid subtropics of Russia are characterized by considerable variability in temperature and moisture regimes, which significantly affects the growth, development, and fruiting of mandarins. Therefore, the search for agronomic practices aimed at increasing the adaptive potential of plants and stabilizing yields is of high relevance.

AIM. To evaluate the effect of fivefold foliar treatment with the preparation Lignohumate AM on the productivity and commercial fruit quality of mandarin (*Citrus reticulata* var. *unshiu* 'Kowano Wase') under the humid subtropical conditions of Russia.

MATERIALS AND METHODS. Field experiments were conducted in 2023–2025 at the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (Sochi). The work studied mandarin plants grafted onto Citrus trifoliata rootstock, planted at a spacing of 4 × 1.5 m. Treatments were applied during key phenological stages of plant development.

RESULTS. It was established that the application of Lignohumate AM consistently increased yield throughout all study years. The greatest effect was observed in 2025, when the average yield reached 12.8 kg per tree (212.1 dt/ha), which was 20–25% higher than the control. Under stressful weather conditions (hot and dry summer), the preparation contributed to reducing yield losses, indicating enhanced adaptive potential of the plants. An improvement in commercial fruit quality was also recorded, manifested as an increased proportion of large-sized fruit (≥60 mm) and a decreased share of small-sized fruit.

CONCLUSION. Thus, fivefold application of Lignohumate AM is an effective agronomic practice that ensures increased yield, greater fruiting stability, and improved fruit quality of mandarin under subtropical conditions.

KEYWORDS: Lignohumate AM, mandarin yield, fruit quality, plant adaptability

ВВЕДЕНИЕ

Гуминовые кислоты являются сложными высокомолекулярными органическими соединениями, формирующимися в процессе гумификации растительных и животных остатков. Они являются одной из основных фракций почвенного гумуса и могут быть разделены на гуминовые кислоты (ГК), гумин и фульвокислоты [1]. Они играют ключевую роль в формировании плодородия почв, участвуют в регуляции биогеохимических циклов и оказывают комплексное влияние на рост и развитие растений. В соответствии с классификацией, предложенной International Humic Substances Society, гуминовые кислоты относятся к щелочерастворимой фракции гумусовых веществ, обладающей высокой химической реакционной способностью и выраженной физиологической активностью [2].

В условиях глобального снижения содержания органического вещества в почвах и усиления деградационных процессов особую актуальность приобретает поиск экологически безопасных способов повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. По данным Food and Agriculture Organization [3], деградация почвенного покрова является одним из ключевых факторов, ограничивающих устойчивое развитие мирового растениеводства. В связи с этим гуминовые вещества рассматриваются как перспективные биостимуляторы, способные одновременно улучшать физико-химические свойства почвы и активизировать физиологические процессы растений [4].

Физиологическое действие гуминовых кислот носит многоуровневый характер. Показано, что они повышают проницаемость клеточных мембран, активируют ферментные системы, усиливают дыхание и фотосинтетическую активность, а также способствуют более эффективному поглощению макро- и микроэлементов [5; 6]. Особое значение придается их влиянию на развитие корневой системы: гуминовые кислоты стимулируют образование боковых корней и корневых волосков, что увеличивает площадь поглощения и повышает эффективность минерального питания. Механизмы данного действия связывают с ауксиноподобной активностью [7]. Также показано, что гуминовые кислоты способствуют снижению токсичности меди для саженцев цитрусовых [8].

На молекулярном уровне гуминовые кислоты способны регулировать экспрессию генов, участвующих в росте и стресс-ответе растений, а также модифицировать сигнальные пути, связанные с азотным и углеродным обменом [9; 10]. Кроме того, они проявляют антиоксидантные свойства, снижая уровень окислительного стресса и повышая устойчивость растений к неблагоприятным условиям среды, включая засуху и засоление [11]. Комплекс этих эффектов приводит к увеличению биомассы, ускорению начального роста и повышению коэффициента использования удобрений.

Особый интерес представляет изучение влияния гуминовых кислот на многолетние плодовые культуры, в том числе цитрусовые, характеризующиеся высокой чувствительностью к условиям питания и водного режима. По данным современных исследований, применение гуминовых препаратов при выращивании цитрусовых культур способствует усилению роста корневой системы, увеличению содержания хлорофилла, улучшению поглощения элементов питания, а также повышению урожайности и качества плодов [12; 13]. Отмечено увеличение массы и диаметра плодов, повышение содержания сахаров и аскорбиновой кислоты, а также снижение негативного влияния солевого стресса [14–16]. Важным механизмом действия является также активизация микробиологических процессов в почве, что способствует улучшению доступности питательных элементов и повышению устойчивости растений к патогенам [17]. Также отмечается, что гуминовые кислоты улучшают водный режим растений и повышают их устойчивость к абиотическим стрессам [18].

Российские субтропики — уникальный и самый северный регион, где возможно успешное выращивание цитрусовых культур в открытом грунте [19]. Этот регион — своеобразная переходная граница естественного произрастания теплолюбивых цитрусовых культур, включая и самый морозоустойчивый вид — мандарин (*Citrus reticulata* Blan. var. *unshiu*). Из всех абиотических факторов окружающей среды для выживания цитрусовых наиболее значимы температура и осадки (влажность почвы). Эти факторы определяют ростовые, генеративные процессы и общий метаболизм растений, необходимый для их выращивания.

В нестабильных погодных условиях особую актуальность приобретает поиск агроприемов, способствующих повышению устойчивости растений к стрессовым факторам среды и оптимизации их физиологического состояния. Одним из перспективных направлений считается применение гуминовых кислот как природных регуляторов роста и адаптаци-

онных реакций растений. Однако, несмотря на значительный объем накопленных данных, механизмы взаимодействия гуминовых кислот с растительным организмом, особенно в отношении многолетних плодовых культур, остаются предметом научной дискуссии. В этой связи дальнейшее исследование влияния гуминовых кислот на физиологические процессы и продуктивность цитрусовых растений является актуальным направлением, имеющим как фундаментальное, так и прикладное значение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе применялся многофункциональный гуминовый стимулятор роста Лигногумат АМ, состоящий из микроэлементов и повышенного содержания фульвокислот. Стимулятор был получен от компании ООО «Лигногумат» (Россия). Производят препарат с 1992 года. Он имеет в своем составе полусинтетические вещества, полученные на основе солей гуминовых и фульвовых кислот, образованных в результате гумисикации растительного сырья (древесины). Применяется для комплексной обработки растений на всех стадиях роста для активного транспортирования питательных веществ и микроэлементов в растения, что может способствовать прибавке урожая до 40 %.

Повторная фолиарная обработка Лигногуматом АМ проведена в 2023–2025 гг. на цитрусовой плантации ФИЦ «Субтропического научного центра Российской академии наук» г. Сочи. Объектом были растения мандарина низкорослой формы типа Васе 2013 г. посадки, подвой C*itrus trifolifta* Raf. Площадь питания 4 х 1,5 м, размещение на 1 га 1660 растений. Повторность опыта трехкратная по три дерева в каждой делянке, размещение — рендомизированное. Почвы бурые лесные слабоненасыщенные, тяжелосуглинистые на карбонатных аргилитах и песчанниках.

Сорт мандарина ‘Ковано Васе’ — низкорослые деревья, с раскидистой, густо облиственной кроной, без колючек, ветви средние, побеги короткие и средние, округлые. *Листья* средние (9–10 х 3,0–3,5 см), широколанцетовидные, черешки узкоокаймленные, короткие. *Плоды* шаровидные (5,8 х 4,7 см), масса до 80 г, основание слегка вдавлено. Вершина плода вдавлена или почти плоская. *Кожура* гладкая, блестящая, ярко оранжевая, толщиной 2,5–3,0 мм, рыхлая, отделяемость хорошая, сердцевина выполненная, долек 9–11, с тонкими, нежными пленками. *Мякоть* нежная, сочная светло-оранжевая, сок обильный, кисло-сладкий, семян нет [20] (рисунок 1). Погодные условия оценивались по методике ЕГМС, определялась температура воздуха и количество осадков по месяцам и за весь период испытания препарата.

Варианты опыта: I — опрыскивание Лигногуматом из расчета 10 г на 10 литров воды (1 л/дерево); II — опрыскивание водой (контроль). Повторность трехкратная, в повторности три растения. Учет урожая (шт/кг) с дерева, пересчет урожайности (ц/га). Сроки обработки с учетом фенологических фаз развития растений проводились: 1 — цветение (III декада мая), 2 — через три недели после цветения (II декада июня), 3 — через три недели после предыдущей (I декада июля), 4 — второй рост побегов (5–7 см длины) — II декада августа, и 5 — не менее 30 дней до созревания плодов (I декада сентября). При обработке материала и оценке результатов исследований применяли пакет программы Excel XP.



Рисунок 1
Растение мандарина сорта ‘Ковано Васе’

Figure 1
Mandarin plant of the ‘Kowano Wase’ variety

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цитрусовые — важнейшие плодовые культуры безморозных субтропических и тропических регионов. Основными лимитирующими факторами возделывания мандарина и других видов рода *Citrus* являются экологические, среди которых главным остается погода. От нее зависят ростовые, генеративные, физиолого-биохимические процессы растений, а также развитие болезней и вредителей. Температурный фактор имеет значение не только зимой, но и летом. Наряду с температурой важное значение имеет также количество выпавших атмосферных осадков, и особенно в критические фазы развития растений. На рисунке 2 представлены результаты сравнительного анализа среднемесячной температуры воздуха и суммы осадков за 2023–2025 гг. относительно климатической нормы (январь – октябрь).

Погодные условия в период вегетации мандарина за 2023–2025 годы характеризовались выраженной сезонной изменчивостью температуры и увлажненности. В 2023 году средняя температура воздуха с мая по октябрь составила 21,3 °С, что соответствовало оптимальным условиям для роста растений, однако отдельные дни создавали стрессовые ситуации: 27 июля температура достигала 33,5 °С, 6 августа — 35,9 °С и 1 сентября — 33,3 °С. В этот период наблюдались мягкая зима с минимальным морозом 2,6 °С (17 февраля), дождливая весна и жаркое, сухое лето.

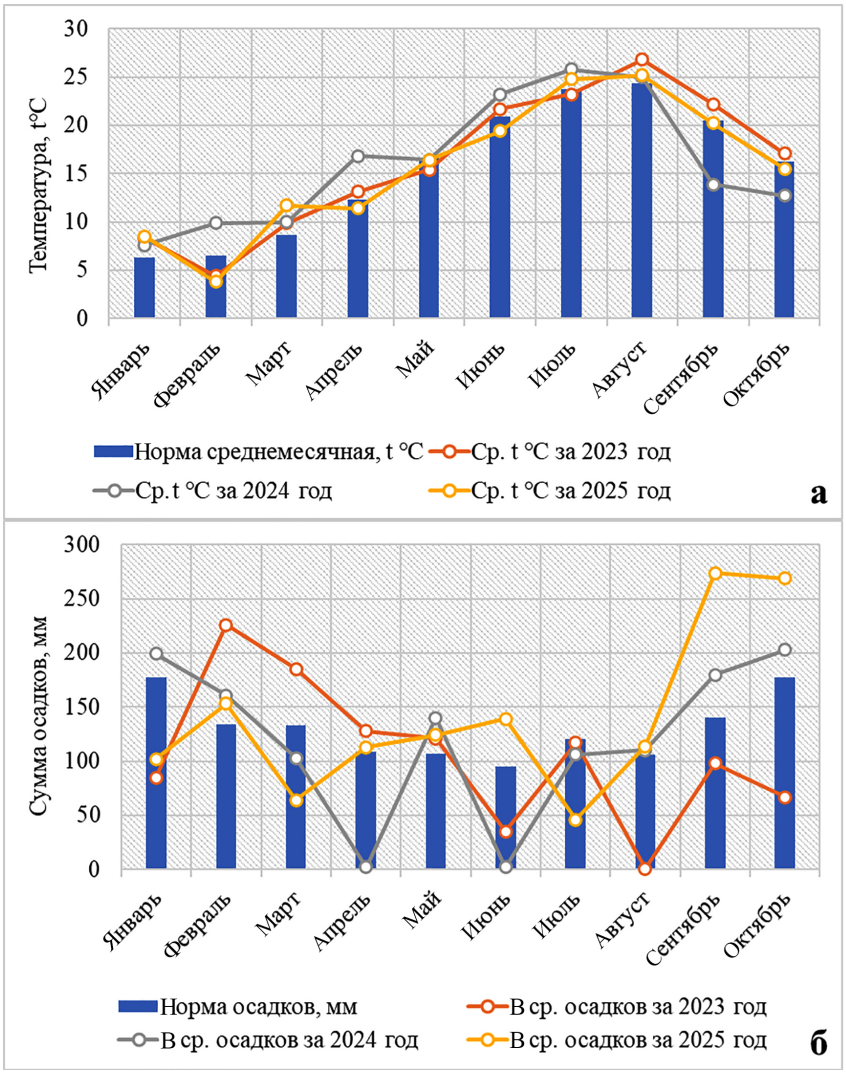


Рисунок 2
Погодные условия в период вегетации: а – температура; б – сумма осадков

Figure 2
Weather conditions during the growing season: a – temperature; b – amount of precipitation

Средняя температура за период испытаний (май – сентябрь) превышала норму на 0,6 °С. Наиболее обильные осадки пришлись на май (113 % нормы), в то время как с июня по октябрь выпало всего 432 мм осадков (58 % нормы), что указывает на выраженный летний дефицит влаги.

В 2024 году погодные условия отличались от предыдущего года по температурному режиму и распределению осадков. Средняя температура с мая по октябрь составила 20,3 °С, близкая к 2023 году, при этом отмечались шесть дней с экстремальными температурами, от 32,2 °С (25 апреля) до 34,3 °С (11 сентября), способными создавать стресс для растений. Зима была мягкой с морозом 3,3 °С (13 января), весна умеренно дождливой (около 70 % нормы осадков), а лето жаркое с засухой в июне (2 % от нормы). Средняя температура за период испытаний превышала норму на 0,6 °С. Наиболее обильные осадки выпали в мае (113 % нормы), в остальные периоды, с июня по октябрь, выпало 432 мм (58 % нормы), что также указывает на выраженный дефицит влаги летом.

Погодные условия 2025 года отличались повышенной влажностью и теплым летом. Средняя температура воздуха с мая по октябрь составила 20,2 °С, близкая к норме, а средняя температура периода испытаний (май – сентябрь) была на 0,1 °С ниже нормы. Экстремальные температуры достигали 31,6 °С в мае, 35,6 °С в июле и 34,0 °С в сентябре. Зима была мягкой (минимум 1,3 °С, 24 февраля), весна умеренно дождливой (301 мм при норме 353 мм). Лето было теплым со среднегодовой температурой 23,1 °С, но с локальной засухой в июле (выпало лишь 39 % нормы осадков). При этом осадки в мае и сентябре превышали норму на 18 и 38 % соответственно, а в сентябре и октябре наблюдалось значительное превышение нормы (двойная и полуторная). Таким образом, анализ трех лет показал, что весенний период характеризуется умеренной температурой с отдельными экстремальными днями и высокой изменчивостью осадков, лето проявлялось жарой и засухой с единичными экстремальными максимумами температуры, а осень варьировала от сухой до крайне влажной. Общая картина свидетельствует о значительной сезонной контрастности погодных условий, которая влияет на стрессовое состояние растений мандарина и требует учета при проведении агротехнических мероприятий. Несмотря на это, об опытах с Лигногуматом АМ не отмечено отрицательных реакций на ростовые или генеративные процессы. Растения мандарина нормально перенесли стрессовые ситуации.

Для цитрусовых растений все фазы онтогенеза одинаково важны. Однако часто считается, что новообразование побегов и последующих листьев менее значимый ростовой процесс, чем формирование генеративных органов (почек, цветков, плодов), которое рассматривается как более важный этап развития. В проводимых исследованиях на развитие основных фенологических фаз мандарина, обусловленных применением Лигногумата АМ, обращалось особое внимание. Анализ проведенных наблюдений показывает, что в годы исследования применение Лигногумата АМ не оказывает влияния на сроки прохождения интересующих нас фенофаз — «второй рост побегов» и «созревание плодов» (таблица 1).

Таблица 1
Основные фенологические фазы развития мандарина сорта 'Kawano Wase' при применении Лигногумата АМ в 2023–2025 гг.

Table 1
Main phenological phases of development of the mandarin variety 'Kawano Wase' when using Lignohumate AM in 2023–2025

Фенофаза		2023 год		2024 год		2025 год	
		Л	К	Л	К	Л	К
Бутонизация		28.04	28.04	26.04	26.04	25.04	25.04
Цветение	Начало	06.05	06.05	08.05	08.05	07.05	07.05
	Конец	06.06	06.06	07.06	07.06	06.06	07.06
Второй рост побегов		04.08	04.08	16.08	16.08	15.08	15.08
Созревание плодов		17.10	17.10	20.10	20.10	22.10	22.10
Начало сбора урожая		20–23.10	20–23.10	25–28.10	25–28.10	25–28.10	25–28.10

Примечание: Л — Лигногумат АМ; К — контроль (вода)
Note: L (Л) — Lignohumate AM; C (К) — control (water)

Фолиарная внекорневая подкормка растений, особенно в фазы роста, имеет существенное значение для эффективности и влияния на урожай. Качественному распределению препарата на листьях способствует мелкодисперсное опрыскивание листьев кроны с двух сторон.

Применение Лигногумата АМ с известной концентрацией и кратностью применения на растениях мандарина в условиях субтропиков России проведено впервые. В условиях экологических стрессов, обусловленных неблагоприятными погодными условиями 2023 года, применение препарата способствовало снижению негативного влияния стрессовых факторов на растения и обеспечило повышение урожая плодов на 38,3 ц /га (9 %) (таблица 2). Прежде всего, на обработанных пятикратно Лигногуматом АМ растениях размер плодов по группам ГОСТа (таблица 4). При этом мелких плодов 3-й группы уменьшилось, а плодов 1-й и 2-й групп увеличилось за счет уменьшения плодов 3-й группы. Таким образом, фолиарное внесение Лигногумата, даже в первый год применения, способствовало повышению урожая плодов и товарного качества.

В таблице 2 отражено влияние обработки препаратом «Лигногумат АМ» на урожайность мандарина в сравнении с контролем (вода) за годы исследования.

В первую очередь видно, что в 2023 году различия между вариантами уже проявлялись. Так, средняя урожайность в контроле составила 14,8 кг/дерево (245,1 ц/га), тогда как при применении Лигногумата АМ — 16,3 кг/дерево (270,8 ц/га). Это указывает на положительный эффект препарата уже в первый год.

В 2024 году наблюдалось общее снижение урожайности в обоих вариантах. Вероятно, это связано с засушливой и жаркой погодой в период завязывания плодов, которая способствовала опадению завязей и, как следствие, снижению урожая. Однако даже в таких условиях вариант с Лигногуматом АМ сохранил преимущество в сравнении с контролем. Это говорит о его положительном влиянии на растения за счет снижения воздействия стрессоров.

Наиболее выраженный эффект проявлялся в 2025 году. Средняя урожайность в варианте с Лигногуматом АМ достигала 12,8 кг/дерево (212,1 ц/га), тогда как в контроле она составляла лишь 10,5 кг/дерево. Следовательно, применение препарата Лигногумата АМ способствовало увеличению урожайности сорта мандарина 'Ковано Васе' на 20–25 %, что, в свою очередь, свидетельствует о его накопительном действии.

При применении различных препаратов важно изучать и учитывать не только влияние на урожайность, но и их влияние на товарное качество плодов. В результате наблюдений нами было установлено, что применение Лигногумата АМ способствует увеличению доли крупных плодов (60 мм и более) (таблица 3). Так, в 2023 году их доля составила 28 против 25 % в контроле, в 2024 — 25 против 22 %, в 2025 — 29 против 25 %. Одновременно снижалась доля мелких плодов (54–38 мм), что указывает на улучшение товарного качества плодов мандарина сорта 'Ковано Васе'.

Таблица 2
Влияние применения препарата «Лигногумат АМ» на урожайность мандарина сорта 'Kawano Wase', 2023–2025 гг.

Table 2
Effect of the use of Lignohumate AM on the yield of mandarin of the 'Kawano Wase' variety, 2023–2025

Вариант	Повторность	Урожайность					
		2023 год		2024 год		2025 год	
		кг/дер.	ц/га	кг/дер.	ц/га	кг/дер.	ц/га
Контроль (вода)	I	14,8±6,1	246,2	9,3±1,0	171,5	9,8±0,8	163,2
	II	14,6±3,2	242,4	9,3±1,3	154,9	10,2±0,8	168,8
	III	14,9±1,9	246,8	9,0±1,5	149,4	11,5±2,2	182,6
	Среднее	14,8±0,2	245,1	9,2±0,2	158,6	10,5±0,9	171,5
Лигногумат АМ	I	16,1±1,9	266,7	9,7±0,8	160,5	10,2±1,6	168,8
	II	15±1,4	249,6	9,3±0,8	154,9	13,8±3,3	229,6
	III	17,8±1,5	296,0	10,3±1,3	171,5	14,3±1,5	237,9
	Среднее	16,3±1,4	270,8	9,8±0,5	162,3	12,8±2,2	212,1

Таблица 3
Влияние применения препарата Лигногумата АМ на товарное качество мандарина сорта ‘Kawano Wase’, 2023–2025 гг.

Table 3
Effect of the use of Lignohumate AM on the commercial quality of mandarin of the ‘Kawano Wase’ variety, 2023–2025

Вариант	Год исследования	ГОСТ 4428–82		
		I	II	III
		60 мм и более	60–54 мм	54–38 мм
Контроль (вода)	2023	25	29	45
	2024	22	25	53
	2025	25	22	53
Лигногумат АМ	2023	28	35	38
	2024	25	30	45
	2025	29	26	45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты трехлетних исследований показали, что многократные обработки мандарина сорта ‘Ковано Васе’ Лигногуматом АМ в течение вегетационного периода оказывают устойчивое положительное влияние на продуктивность и качество урожая. Во все годы наблюдений данный вариант превосходил контроль по урожайности, причем величина варьировала в зависимости от погодных условий, достигая максимальных значений к третьему году (до 20–25 %). В неблагоприятных условиях (2024 год) применение Лигногумата АМ способствует снижению потери урожайности в сравнении с контролем, что говорит о повышении адаптивного потенциала растений. Кроме того, пятикратная обработка способствует увеличению плодов крупной фракции за счет снижения мелкой.

Таким образом, регулярное применение Лигногумата АМ является эффективным агротехническим приемом, обеспечивающим повышение урожайности, ее стабильности по годам и улучшение качественных показателей плодов за счет комплексного физиолого-биохимического воздействия на растения.

Вклад авторов

В. М. Горшков: разработка концепции, курирование данных, проведение исследования, административное руководство исследовательским проектом, научное руководство, визуализация, написание черновика рукописи, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

А. С. Кулешов: формальный анализ, проведение исследования, визуализация, написание черновика рукописи, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

Р. В. Кулян: проведение исследования, административное руководство исследовательским проектом, предоставление ресурсов, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

Contributions

V. M. Gorshkov: conceptualization, data curation, investigation, project administration, supervision, visualization, writing — original draft, writing — review & editing.

A. S. Kuleshov: formal analysis, investigation, visualization, writing — original draft, writing — review & editing.

R. V. Kulyan: investigation, project administration, resources, writing — review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/ REFERENCES

1. Peng X.X., Gai S., Cheng K., et al. Roles of humic substances redox activity on environmental remediation. *Journal of Hazardous Materials*. 2022;435:129070. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129070
2. Maffia A., Oliva M., Marra F., et al. Humic substances: bridging ecology and agriculture for a greener future. *Agronomy*. 2025;15(2):410. https://doi.org/10.3390/agronomy15020410
3. FAO. Status of the World's Soil Resources. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5199e The link is active on 21.05.2026
4. Olaetxea M., Mora V., Baigorri R., et al. The singular molecular conformation of humic acids in solution influences their ability to enhance root hydraulic conductivity and plant growth. *Molecules*. 2020;26(1):3. https://doi.org/10.3390/molecules26010003
5. Canellas L.P., Olivares F.L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2014;1:3. https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3
6. Guo X.X., Liu H.T., Wu S.B. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the total environment*. 2019;662:501-510. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.137
7. Silva R.M., Peres A.N.A., Peres L.E.P., et al. Humic substances isolated from recycled biomass trigger jasmonic acid biosynthesis and signalling. *Plants*. 2023;12(17):3148. https://doi.org/10.3390/plants12173148
8. Huang W.T., Shen Q., Yang H., et al. Effects of humic acid-copper interactions on growth, nutrient absorption, and photosynthetic performance of *Citrus sinensis* seedlings in sand culture. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2024;43:3920-3938. https://doi.org/10.1007/s00344-024-11359-y
9. Canellas L.P., Canellas N.O., Soares T.S., et al. Humic acids interfere with nutrient sensing in plants owing to the differential expression of TOR. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019;38(1):216-224. https://doi.org/10.1007/s00344-018-9835-6
10. Olaetxea M., Mora V., Baigorri R., et al. The singular molecular conformation of humic acids in solution influences their ability to enhance root hydraulic conductivity and plant growth. *Molecules*. 2021;26(1):3. https://doi.org/10.3390/molecules26010003
11. Canellas L.P., da Silva R.M., Busato J.G., et al. Humic substances and plant abiotic stress adaptation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*.2024;11(1):1-18. https://doi.org/10.1186/s40538-024-00575-z
12. Kareem I.H., Bahauldin A.S., Mohammed A.O. Effect of humic acid on vegetative growth characteristics and yield of citrus fruits: A review. *International Journal of Horticulture and Food Science*. 2024;6(1):129-132. https://doi.org/10.33545/26631067.2024.v6.i1b.201
13. Martinez E. Biochemical effects of humic acid on citrus tree development and fruit yield: An integrated review. *International Journal of Chemical and Biological Sciences*. 2025;7(1):170-173. https://doi.org/10.33545/26646765.2025.v7.i1b.176
14. Hameed A., Fatma S., Wattoo J.I., et al. Accumulative effects of humic acid and multinutrient foliar fertilizers on the vegetative and reproductive attributes of citrus (*Citrus reticulata* cv. kinnow mandarin). *Journal of plant nutrition.* 2018;41(19):2495-2506. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1510506
15. He X., Zhang H., Li J., et al. The positive effects of humic/fulvic acid fertilizers on the quality of lemon fruits. *Agronomy*. 2022;12(8):1919. https://doi.org/10.3390/agronomy12081919
16. Asim M., Hayat F., Ashraf T., et al. Impact of various combinations of organic and inorganic fertilizers on fruit production and quality of 'Kinnow' Mandarin (Citrus reticulata Blanco.). *Applied Fruit Science*. 2024;66(1):133-143. https://doi.org/10.1007/s10341-023-00969-7
17. Schmidt I., Zayed A., Bianchi L. Microbial interactions facilitated by humic acid in citrus tree rhizosphere: Implications for growth and yield. *Microbiology Journal*. 2025;6(2):423-426. https://doi.org/10.22271/micro.2025.v6.i2e.286
18. Al-Sayed A., Gonzalez M., Yeboah G. Humic acid as a natural growth enhancer in citrus crops: A phytopharmacological evaluation. *Journal of Phytopharmacology and Phytomedicine*. 2025;2(2):52-56. https://doi.org/10.33545/30810620.2025.v2.i2.A.33

19. Кулян Р.В., Кулешов А.С. Изучение и практическое использование биоресурсной коллекции цитрусовых культур. *Аграрный научный журнал*. 2024;1:17-23. https://doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp17-23
Kulyan R.V., Kuleshov A.S. Study and practical use of the bioresource collection of citrus crops. *Agrarian Scientific Journal*. 2024;1:17-23. (In Russ.) https://doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp17-23
20. Горшков В.М., Фогель В.А., Кулян Р.В. *Каталог цитрусовых культур* / под редакцией А. В. Рындина. Сочи.:ГНУ ВНИИЦиСК, 2013.91.
Gorshkov V.M., Fogel V.A., Kulyan R.V. *Catalogue of Citrus Crops* / Edited by A. V. Ryndin. Sochi: GNU VNIITsISK, 2013.91. (In Russ.)

Сведения об авторах

Горшков Вячеслав Михайлович —
доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Субтропический научный центр Российской академии наук, Сочи, Россия
SPIN-код: 3510-7161
mitisvg@mail.ru

Кулешов Александр Сергеевич —
кандидат биологических наук, научный сотрудник, Субтропический научный центр Российской академии наук, Сочи, Россия
https://orcid.org/0000-0002-4192-8329
SPIN-код: 5146-7229
subtrop.alexandr24@gmail.com

Кулян Раиса Васильевна —
кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Субтропический научный центр Российской академии наук, Сочи, Россия
https://orcid.org/0000-0002-8406-8197
SPIN-код: 4411-4979
raisa.kulyan22@gmail.com

About the authors

Vyacheslav M. Gorshkov —
Dr. Sci. (Agric.), Chief Researcher, Subtropical Research Center of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia
mitisvg@mail.ru

Alexander S. Kuleshov —
Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory, Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia
https://orcid.org/0000-0002-4192-8329
subtrop.alexandr24@gmail.com

Raisa V. Kulyan —
Cand. Sci. (Agric.), Leading Researcher, Subtropical Research Center of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia
https://orcid.org/0000-0002-8406-8197
raisa.kulyan22@gmail.com

Исследовательская статья

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137

Влияние гуминового препарата на растения ярового ячменя в условиях стресса от повышенного содержания свинца

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Ольга Степановна Безуглова
E-mail: lola314@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Бесчетников В.В., Безуглова О.С. Влияние гуминового препарата на растения ярового ячменя в условиях стресса от повышенного содержания свинца. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(3):125-134. https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137
EDN IIMBIF

ПОСТУПИЛА: 08.07.2026
ДОРАБОТАНА: 07.09.2026
ПРИНЯТА: 07.09.2026
ОПУБЛИКОВАНА ОНЛАЙН: 30.09.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ / ФИНАНСИРОВАНИЕ
Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2026-0019.

COPYRIGHT: © 2026 Бесчетников В.В., Безуглова О.С.

В.В. Бесчетников, О.С. Безуглова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. Многочисленные исследования указывают на адаптогенную роль гуминовых веществ, что позволяет при их применении снижать негативные последствия не только погодных катаклизмов, но и уменьшать стресс от применения пестицидов, наличия в среде токсических соединений, включая тяжелые металлы. Однако существует недостаточная изученность механизмов их воздействия на сельскохозяйственные растения, в том числе на клеточные структуры растений.

ЦЕЛЬ. Показать влияние гуминового препарата на рост ячменя обыкновенного в условиях стресса, вызванного загрязнением свинцом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В условиях лабораторного эксперимента проведено моделирование загрязнения среды ацетатом свинца и попытка нейтрализации токсического действия свинца на растения ячменя обыкновенного введением в среду гуминового препарата. Модельный опыт проводили при помощи гидропонного метода выращивания растений. В качестве субстрата использовался промытый от ила и прокаленный кварцевый песок, в качестве питательного раствора была использована питательная смесь Прянишникова. Растения выращивались в течение 14 дней (для ячменя это начало кущения). Затем проводили морфометрические измерения, а также измеряли цитоморфометрические показатели.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Загрязнение субстрата свинцом вызывает изменения в размерах корневой системы и надземной части ячменя, снижает массу растений. Микроскопический анализ выявил изменения в цитоморфометрических показателях корней и листьев, которые выражались в увеличении поперечного размера корня растения по сравнению с контролем и доли проводящих тканей в нем, а также повреждении клеток хлоренхимы листьев и уменьшении количества пластид в них.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Применение гуминового препарата позволило частично скомпенсировать негативные эффекты, способствуя адаптации растений к действию поллютанта за счет оптимизации процессов корнеобразования и восстановления количества пластид в клетках листовых пластин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: загрязнение свинцом, гуминовый препарат из вермикомпоста, ячмень, цитоморфометрические показатели

Research article

https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137

Effect of a humic preparation on spring barley plants under elevated lead stress

CORRESPONDENCE:
Olga S. Bezuglova
E-mail: lola314@mail.ru

FOR CITATION:
Beschetnikov V.V., Bezuglova O.S. Effect of a humic preparation on spring barley plants under elevated lead stress. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(3):125-134. (In Russ.) https://doi.org/10.31279/ABNC-2026-16-3-137

RECEIVED: 08.07.2026
REVISED: 07.09.2026
ACCEPTED: 07.09.2026
PUBLISHED ONLINE: 30.09.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

ACKNOWLEDGEMENTS / FUNDING
The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment in the field of scientific activity No. FENW-2026-0019

COPYRIGHT: © 2026 Beschetnikov V.V., Bezuglova O.S.

Vladimir V. Beschetnikov, Olga S. Bezuglova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Numerous studies indicate the adaptogenic role of humic substances, which allows their application to reduce the negative consequences of not only weather disasters but also to decrease stress from pesticide application and the presence of toxic compounds in the environment, including heavy metals. However, there is insufficient knowledge regarding the mechanisms of their impact on agricultural plants, including plant cellular structures.

AIM. To demonstrate the effect of a humic preparation on the growth of common barley under stress conditions caused by lead pollution.

MATERIALS AND METHODS. Under laboratory experiment conditions, environmental pollution with lead acetate was simulated, and an attempt was made to neutralize the toxic effect of lead on common barley plants by introducing a humic preparation into the medium. The pot experiment was modeled using the hydroponic method of plant cultivation. Silt-washed and calcined quartz sand was used as a substrate, and Pryanishnikov's nutrient mixture was used as a nutrient solution. Plants were grown for 14 days (which corresponds to the beginning of tillering for barley). Subsequently, morphometric measurements were performed, and cytomorphometric parameters were measured.

RESULTS. Substrate pollution with lead causes changes in the size of the root system and the aboveground part of barley, and reduces plant weight. Microscopic analysis revealed changes in the cytomorphometric parameters of roots and leaves, which were expressed in an increase in the root cross-sectional size compared to the control and the proportion of conducting tissues within it, as well as damage to leaf chlorenchyma cells and a decrease in the number of plastids inside them.

CONCLUSION. The application of the humic preparation allowed for a partial compensation of the negative effects, promoting plant adaptation to the pollutant action due to the optimization of root formation processes and the restoration of the number of plastids in the cells of leaf blades.

KEYWORDS: lead pollution, humic preparation from vermicompost, barley, cytomorphometric parameters

ВВЕДЕНИЕ

Гуминовые вещества представляют собой высокомолекулярные природные органические соединения, образующиеся в результате гумификации растительных и животных остатков. В данную группу химических веществ входят гуминовые кислоты и фульвокислоты, их соли (гуматы и фульваты), а также гумин, различающиеся молекулярной массой, растворимостью и химической активностью [1]. Их состав и свойства находятся в зависимости от исходного органического материала и условий гумификации, что обусловливает значительное разнообразие механизмов их взаимодействия с растениями [2–4].

В агрохимии удобрения и препараты на основе гуминовых веществ рассматриваются как эффективные регуляторы почвенного плодородия и физиологически активные соединения, способные оказывать комплексное влияние на растения. Установлено, что применение гуминовых препаратов стимулирует рост и развитие корневой системы [5; 6], активизирует процессы фотосинтеза и ферментативной активности [7–9], усиливает поглощение макро- и микроэлементов и повышает эффективность использования удобрений [10; 11]. Благодаря высокой емкости катионного обмена, наличию функциональных карбоксильных и фенольных групп, а также выраженным комплексообразующим свойствам они участвуют в трансформации и миграции элементов питания, улучшают агрохимические свойства почвы, способствуют формированию водопрочной структуры и повышают микробиологическую активность [12–15]. Совокупность этих эффектов позволяет рассматривать гуминовые вещества не только как стимуляторы роста, но и как эффективные адаптогены, повышающие устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Загрязнение почв тяжелыми металлами является одной из важных проблем современного земледелия, так как данные химические вещества обладают устойчивостью к биодеградации и способны накапливаться в почвенном профиле, постепенно достигая токсических концентраций [16; 17]. Это может приводить к снижению продуктивности сельскохозяйственных растений и ухудшению качества получаемой продукции. Среди наиболее распространенных и токсичных загрязнителей особое место занимает свинец, поступающий в окружающую среду вследствие промышленных выбросов или в качестве побочного компонента в составе фосфорных удобрений [18]. Ионы свинца не играют какой-либо роли в биохимических процессах растений, однако известно, что он может поглощаться и накапливаться в них. Это приводит к угнетению роста корневой системы и надземных органов, снижению интенсивности фотосинтеза и дыхания, нарушению водного и минерального обмена, а также вызывает развитие окислительного стресса и повреждение клеточных структур, что особенно опасно на ранних стадиях развития растений [19–21].

В связи с этим значительный интерес представляет использование препаратов на основе солей гуминовых веществ для снижения фитотоксичности тяжелых металлов. Тем не менее сложность и вариабельность химического состава гуминовых веществ обусловливает недостаточную изученность механизмов их воздействия на сельскохозяйственные растения. Причем наименее изучены гуминовые вещества с точки зрения их воздействия на клеточные структуры растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Этические аспекты

Работа не предусматривала экспериментов на животных или людях, поэтому этические заключения не требовались.

Материалы

При проведении исследования в качестве источника гуминовых веществ использовался препарат «BIO-Дон», получаемый при помощи щелочной экстракции из вермикомпоста. Данный препарат поставляется производителем в виде жидкого концентрата темно-бурого цвета.

В качестве тестовой культуры использовали ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.), сорт ‘Ратник’. Данный среднеспелый сорт включен в государственный реестр в 2004 году и рекомендован для выращивания на территориях Ростовской области и Ставропольского края.

Оборудование

Ультрамикротом Leica EM UC6 (Германия).
Тринокуляр ЛОМО Микмед-6 (Россия).

Реактивы

Ацетат свинца (II) ($Pb(CH_3COO)_2$).

Глутаровый альдегид (2,5 %) в натрий-фосфатном буфере (pH = 7,3).

Тетраоксид осмия (2 %) в натрий-фосфатном буфере (pH = 7,3).

Эпоксидная смола «Эпон-812».

Гипохлорит натрия (5 %).

Этиловый спирт.

Ацетон.

Дистиллированная вода.

Методы

Модельный опыт проводился при помощи гидропонного метода выращивания растений. В качестве субстрата использовался промытый от ила и прокаленный кварцевый песок, в качестве питательного раствора была использована питательная смесь Прянишникова [1], включающая макро- и микроэлементы.

Полученные результаты измерений были обработаны с использованием программного обеспечения (ImageJ, LibreOffice Calc) и методов математической статистики [2].

Процедура исследования

Лабораторный модельный эксперимент включал 4 варианта: 1. Контроль (чистая смесь Прянишникова); 2. Контроль + BIO-Дон; 3. Контроль + + $Pb(CH_3COO)_2$, 4. Контроль + $Pb(CH_3COO)_2$ + BIO-Дон. Количество повторностей в каждом варианте – 3.

В полипропиленовый контейнер объемом 300 мл в два этапа помещалось 400 г подготовленного песка. Сначала насыпалась первая порция песка массой 300 г и на выровненную поверхность равномерно высевались пророщенные семена ячменя [3] с одинаковой длиной корня в количестве 8 штук на контейнер. Затем сверху насыпалась вторая порция песка массой 100 г для покрытия семян сверху и в контейнер заливалась питательная смесь Прянишникова объемом 100 мл. Состав использованной питательной смеси представлен в таблице 1. Требуемое количество питательной смеси определялось при помощи расчета влагоемкости песка. Перед проращиванием семена ячменя были очищены от включений, отсортированы по размеру и для стерилизации промыты 5 % раствором гипохлорита натрия с последующей 5-кратной промывкой в дистиллированной воде для удаления остатков антисептика.

Техногенное загрязнение свинцом моделировали с использованием водорастворимой соли — ацетата свинца (II) ($Pb(CH_3COO)_2$), которая вносилась в субстрат в концентрации 2000 мг/кг в пересчете на свинец. Высокая концентрация свинца выбрана с целью моделирования условий интенсивного загрязнения тяжелым металлом, а также в связи с тем, что планировался кратковременный эксперимент.

Таблица 1
Химический состав и содержание компонентов питательной смеси Прянишникова

Table 1
Chemical composition and content of the components of Pryanishnikov's nutrient medium

Химическое соединение	Содержание, г/л	Химическое соединение	Содержание, г/л	Химическое соединение	Содержание, г/л
NH_4NO_3	0,240	$MnCl_2 \cdot 5H_2O$	0,150	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0,056
$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	0,358	H_3BO_3	0,100	$ZnSO_4$	
$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	0,025	LiCl	0,028	$Al_2(SO_4)_3$	
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,344	$SnCl_2 \cdot 2H_2O$		$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,123	KI		$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	
KCl	0,005	KBr		TiO_2	

[1] Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. М. : Наука, 1968. 260 с.

[2] Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.

[3] ГОСТ 12038–84. «Методы определения всхожести семян сельскохозяйственных культур». Москва : Издательство стандартов, 1984. 8 с.

Гуминовый препарат BIO-Дон вносился в субстрат в концентрации 5 мл/л в соответствии с рекомендуемой производителем дозой.

Семена проращивались 3 суток, затем высаженные семена выращивались еще в течение 14 дней (для ячменя это начало кущения). По наступлению данного периода растения извлекали из контейнера, очищали от остатков субстрата, затем проводили измерение длины корня, высоты побега и взвешивание массы сырых растений. После высушивания образцов определяли их воздушно-сухую массу.

В процессе снятия морфометрических показателей параллельно проводили отбор образцов для проведения микроскопического исследования. Для этого сначала от корней и листовых пластин исследуемого ячменя бритвенным лезвием отсекались небольшие фрагменты размером 1–1,5 мм^3. Фрагменты корней отбирались в зоне всасывания, фрагменты листовых пластин из середины листьев. Затем для предотвращения постмортальных изменений они последовательно помещались в свежеприготовленные гистохимические фиксаторы, в качестве которых выступали растворы глутарового альдегида (2,5 %) и тетраоксида осмия (2 %) в натрий-фосфатном буфере (pH = 7,3). Зафиксированные фрагменты растений обезвоживали при помощи серии растворов этилового спирта и ацетона с увеличивающейся концентрацией, а после этого заливали эпоксидной смолой «Эпон-812». Подготовка полутонких срезов (700 нм) для светооптического анализа проводилась с помощью стеклянных ножей на ультрамикротоме Leica EM UC6 (Германия). Для создания контраста использовался краситель на основе смеси метиленового синего и толуидинового синего. Световая микроскопия выполнена с использованием тринокуляра ЛОМО Микмед-6 (Россия). Фотоснимки были получены при увеличении 400 крат.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рост и развитие сельскохозяйственных растений на ранних стадиях онтогенеза в большой степени определяют их последующую жизнеспособность и качество производимого урожая. В этот период происходит интенсивное формирование корневой системы и надземных органов за счет деления молодых клеток и их дифференцирования. Протекание этих процессов требует существенной затраты энергии и питательных элементов, поступление которых сильно ограничено и обеспечивается преимущественно эндоспермом семени. По этой же причине защитные механизмы молодого растения также не могут быть развиты в полной мере, и оно находится в состоянии наибольшей чувствительности к неблагоприятным факторам внешней среды, в том числе к присутствию токсичных элементов и сниженной доступности элементов питания. Наряду с этим известно, что препараты на основе гуминовых веществ подобно фитогормонам способны оказывать стимулирующее действие на рост растений и процессы накопления вегетативной биомассы, что может способствовать повышению устойчивости растений на ранних этапах их формирования. В связи с этим является целесообразным определение морфометрических показателей исследуемых растений.

В ходе проведения морфометрического анализа корней и надземной части ячменя обыкновенного (рисунок 1) было обнаружено, что присутствие ионов свинца оказало существенный токсический эффект и повлияло на длину корня и высоту надземной части ячменя, снизив данные показатели более чем наполовину. Растения с загрязненного варианта без внесения гумата обладали плохо развитой корневой системой, а на листьях и их кончиках наблюдались белые пятна, связанные с цитотоксическим действием свинца [22; 23].

Добавление в субстрат гуминового препарата BIO-Дон оказало неоднозначный эффект на исследуемые растения: на обоих вариантах с добавлением гуминового препарата наблюдается снижение длины корневой системы ячменя при одновременном увеличении размеров надземной части растений по сравнению с парным вариантом без обработки. Данный негативный эффект, скорее всего, связан с тем, что, как и большинство концентрированных препаратов на основе гуминовых веществ, рассматриваемый гумат получается из вермикомпоста методом щелочной экстракции при помощи гидроксида натрия (NaOH) и по этой причине имеет щелочную реакцию (pH = 8,7). Эта особенность, а также необходимость применения гуматов в повышенной концентрации при внесении в субстрат в совокупности приводят к временным ожогам молодых корней [24; 25]. Тем не менее внесение BIO-Дона позволило снизить стресс от тяжелого металла на развитие надземной части, ответственной за фотосинтез, и увеличить ее размеры.

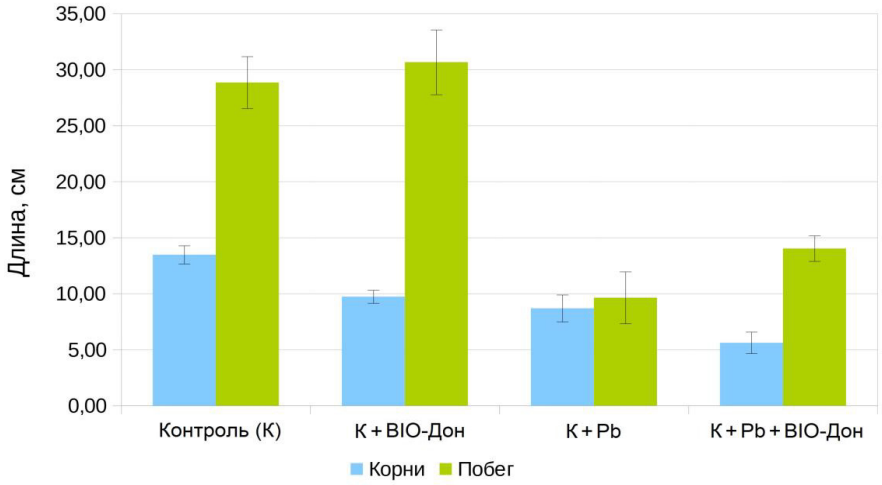


Рисунок 1
Длина корней и высота побегов ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта ‘Ратник’ в условиях загрязнения субстрата свинцом и внесения гуминового удобрения

Figure 1
Root length and shoot height of common barley (*Hordeum vulgare* L.) cv. ‘Ratnik’ under conditions of lead-contaminated substrate and humic fertilizer application

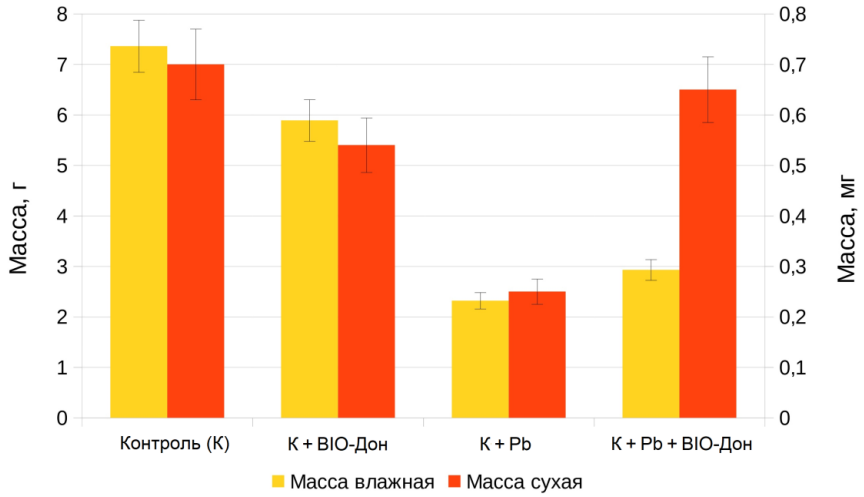


Рисунок 2
Влажная и сухая масса ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта ‘Ратник’ в условиях загрязнения субстрата свинцом и внесения гуминового удобрения.

Примечание: На графике по левой оси Y отложена масса растений во влажном состоянии; по правой оси Y — масса растений в сухом состоянии

Figure 2
Fresh and dry biomass of common barley (*Hordeum vulgare* L.) cv. ‘Ratnik’ under conditions of lead-contaminated substrate and humic fertilizer application.

Note: Fresh biomass is presented on the left Y-axis, whereas dry biomass is presented on the right Y-axis

Помимо воздействия на общую длину корневой системы и высоту побегов рассматриваемые негативные факторы также могут оказывать влияние на набор биологической массы растениями. Так, например, известно, что ионы свинца нарушают процессы обмена веществ и воды в клетках растений, вызывая тем самым их деформацию, угнетение роста и увеличение их размеров в результате избыточного накопления воды в центральной вакуоли [26; 27]. На проявление подобного эффекта может указывать заметная разница между массой сырых и высушенных растений (рисунок 2). При выращивании

ячменя на загрязненном субстрате наряду с размерами растения произошло серьезное уменьшение их массы более чем на две трети от контроля. Внесение гумата позволило не только увеличить массу растений, но и сместить баланс в сторону набора сухой массы за счет развития надземной части.

При внесении гуминового препарата в чистую питательную смесь также отмечалось снижение массы растений. Вероятно, наблюдаемое уменьшение массы связано с особенностями воздействия гуминового препарата на анатомо-морфологические характеристики листьев. Так, наряду с увеличением общих размеров надземной части растений происходило увеличение размеров клеток хлоренхимы и межклеточного пространства, что, в свою очередь, сопровождалось утолщением листовых пластинок (таблица 2). Подобные изменения могут свидетельствовать об усилении интенсивности процессов поглощения и обмена влаги растениями. Таким образом, выявленное снижение массы может быть обусловлено не угнетением роста, а перераспределением ресурсов и изменением анатомической структуры надземных органов растений под влиянием гуминового препарата.

Как уже было упомянуто ранее, свинец вызвал появление белых пятен на листьях ячменя. Подобный признак указывает на нарушение процессов образования хлорофилла в клетках хлоренхимы, что может быть связано со снижением количества хлоропластов (таблица 2), ответственных за протекание фотосинтеза.

Также важно отметить, что в рассмотренных образцах листовых пластин с загрязненного варианта «K + Pb» некоторая часть клеток паренхимы не имела сформировавшихся пластид или вовсе была подвержена некрозу. Гуминовый препарат помог снизить нагрузку на фотосинтетический аппарат и улучшить состояние клеток хлоренхимы, а также увеличить содержание пластид в них.

Помимо листьев изменения были отмечены и в корнях растений, которые являются главным барьером на пути поллютанта. При внесении свинца произошло увеличение поперечного размера корня растения по сравнению с контролем. Сочетанное внесение свинца и BIO-Дон вызвало аналогичный эффект, но в дополнение к этому произошло и уменьшение доли центрального цилиндра (стелы). При этом отдельное внесение гумата таких последствий не вызвало, а, наоборот, уменьшило общую толщину корня и увеличило долю стелы. Такая реакция на растения может быть связана с оптимизацией процессов образования тканей под действием гумата, которая в данном случае выражается в стимуляции роста корового слоя корня и сужении проводящих тканей. Это позволяет корневой системе растений более эффективно выполнять барьерную функцию, ограничивая скорость поступления и транслокации ионов свинца в надземные органы по ксилеме. Таким образом, складываются условия, при которых происходит снижение интенсивности одномоментного воздействия поллютанта на ткани растений и постепенное его накопление, вследствие чего развитие выраженного токсического эффекта может растягиваться во времени и смещаться на более поздний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что загрязнение субстрата ионами свинца вызывает выраженные изменения в размерах корневой системы и надземной части ячменя, а также нега-

Таблица 2
Цитоморфометрические показатели ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) сорта ‘Ратник’

Table 2
Cytomorphometric parameters of common barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar ‘Ratnik’

Варианты	Корни		Листья		
	Размер корня, мкм^2	Размер стелы, мкм^2	Толщина листа, мкм	Размер клетки хлоренхимы, мкм^2	Среднее кол-во пластид, шт
K	91853,97 ± 5238,73	9181,20 ± 974,32	88,14 ± 23,27	292,35 ± 69,34	9,32 ± 1,89
K + BIO-Дон	82136,73 ± 5820,48	10315,71 ± 879,42	133,51 ± 47,33	380,40 ± 115,98	8,92 ± 1,31
K + Pb	102444,66 ± 6540,22	11427,50 ± 603,21	123,13 ± 33,12	274,07 ± 62,08	6,30 ± 1,21
K + Pb + BIO-Дон	103802,69 ± 6801,25	8405,22 ± 618,90	113,31 ± 32,17	269,65 ± 59,56	7,63 ± 1,85

тивно влияет на массу растений. Наряду с этим микроскопический анализ выявил изменения в цитоморфометрических показателях корней и листьев, которые выражались главным образом в изменении поперечных размеров корня и доли проводящих тканей в нем, а также повреждении клеток хлоренхимы листьев и уменьшении количества пластид в них. Применение гуминового препарата на основе вермикомпоста позволило частично скомпенсировать подобные негативные эффекты, способствуя адаптации растений к действию поллютанта за счет оптимизации процессов корнеобразования и восстановления количества пластид в клетках листовых пластин.

Вклад авторов

В. В. Бесчетников: проведение исследований, валидация результатов, визуализация, написание черновика рукописи.

О. С. Безуглова: разработка концепции, курирование данных, получение финансирования, научное руководство, редактирование рукописи.

Contributions

V. V. Beschetnikov: investigation, data curation, validation, methodology, visualization, writing – original draft.

O. S. Bezuglova: conceptualization, project administration, resources, writing – review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Орлов Д.С. *Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации*. М.: Изд-во МГУ, 1990.325.
   Orlov D.S. *Humic Acids of Soils and the General Theory of Humification*. M.: Moscow State University Publishing House, 1990.325. (In Russ.)
2. Swift R.S., Posner A.M. Nitrogen, phosphorus and sulphur contents of humic acids fractionated with respect to molecular weight. *Journal of Soil Science*. 1972;23(1):50-57. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1972.tb01640.x
3. Орлов Д.С. *Гумусовые кислоты почв*. М.: Изд-во МГУ, 1974.332.
   Orlov D.S. *Humus Acids of Soils*. Moscow: Moscow State University Press, 1974.332. (In Russ.)
4. Thurman E.M. *Organic Geochemistry of Natural Waters*. Dordrecht: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers,1985.451.
5. Чуков С.Н., Талашкина В.Д., Надпорожская М.А. Физиологическая активность ростовых стимуляторов и гуминовых кислот почв. *Почвоведение.* 1995;2:169-174.
   Chukov S.N., Talashkina V.D., Nadporozhskaya M.A. Physiological activity of growth stimulants and humic acids of soils. *Pochvovedenie*. 1995;2:169-174. (In Russ.)
6. Zandonadi D.B., Canellas L.P., Façanha A.R. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H^+ pumps activation. *Planta.* 2007;225(6):1583-1595. https://doi.org/10.1007/s00425-006-0454-2
7. Куликова Н.А., Перминова И.В., Лебедева Г.Ф., и др. Влияние органического вещества водной и щелочной вытяжек торфа на фотосинтез растений. *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*. 1997;2:36-41.
   Kulikova N.A., Perminova I.V., Lebedeva G.F., et al. Effect of organic matter of aqueous and alkaline extracts of peat on plant photosynthesis. *Bulletin of Moscow University. Series 16: Biology.* 1997;2:36-41. (In Russ.)
8. Ertani A., Nardi S., Francioso O., et al. Metabolite-targeted analysis and physiological traits of *Zea mays* L. in response to application of a leonardite-humate and lignosulfonate-based products for their evaluation as potential biostimulants. *Agronomy.* 2019;9(8):445. https://doi.org/10.3390/agronomy9080445
9. Наими О.И., Дубинина М.Н., Матюгин В.А., и др. Влияние гуминовых препаратов на содержание подвижного фосфора и активность фосфатазы в черноземе обыкновенном под посевами озимой пшеницы. *Земледелие.* 2023;5:32-36. https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-5-32-36

Naimi O.I., Dubinina M.N., Matyugin V.A., et al. Effect of humic preparations on the content of mobile phosphorus and phosphatase activity in ordinary chernozem under winter wheat crops. *Zemledelie.* 2023;5:32-36. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-5-32-36

10. Горовая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. *Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль*. Киев : Наукова думка, 1995.303.
Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. *Humic Substances: Structure, Functions, Mechanism of Action, Protective Properties, Ecological Role*. Kyiv: Naukova Dumka, 1995.303. (In Russ.)
11. Безуглова О.С., Неганова Н.М., Сыровой А.А. Влияние гумата натрия и его производных, обогащенных железом и микроэлементами, на рост и развитие сливы сорта 'Хиссеи'. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2011;3:50-54.
Bezuglova O. S., Neganova N. M., Syrovoy A. A. The influence of sodium humate and its derivatives enriched with iron and microelements on the growth and development of plum variety 'Hissei'. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2011;3:50-54. (In Russ.)
12. Alvarez-Puebla R.A., Valenzuela-Calahorro C., Garrido J.J. Cu (II) retention on a humic substance. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004;270(1):47-55. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.08.068
13. Garcia-Mina J. M., Antolin M. C., Sanchez-Diaz M. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: A study based on different plant species cultivated in diverse soil types. *Plant and Soil*. 2004;258(1):57-68. https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016509.56780.40
14. Горовцов А.В., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., и др. Влияние гуминовых веществ на микробиологическую активность почвы под плодовыми культурами. *Живые и биокосные системы*. 2016;18:2. https://doi.org/10.18522/2308-9709-2016-18-2
Gorovtsov A.V., Bezuglova O.S., Polienko E.A., et al. The effect of humic substances on microbial activity of the soil under fruit trees. *Live and bio-abiotic systems*. 2016;18:2. (In Russ.) https://doi.org/10.18522/2308-9709-2016-18-2
15. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Горовцов А.В., и др. Влияние гуминового удобрения на структуру и микробиологическую активность чернозема южного под различными культурами. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015;17(6):164-168.
Bezuglova O.S., Lykhman V.A., Gorovtsov A.V., et al. Influence of humic fertilizer on structure and microbiological activity of southern chernozem under various cultures. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2015;17(6):164-168. (In Russ.)
16. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants.* Boca Raton: CRC Press, 2001.413.
17. Tefera M.F., Gebreyohannes, M. Saraswathi Heavy metal analysis in the soils of in and around Robe town, Bale zone, South-Eastern, Ethiopia. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2018;7(3):251-256. https://doi.org/10.18393/ejss.430116
18. Gottesfeld P., Were F.H., Adogame L., et al. Soil contamination from lead battery manufacturing and recycling in seven African countries. *Environmental Research*. 2018;161:609-614. https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.055
19. Maestri E., Marmiroli M., Visioli G., et al. Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment. *Environmental and Experimental Botany*. 2010;68(1):1-13. https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2009.10.011
20. Sędzik M., Smolik B., Krupa-Małkiewicz M. Effect of lead on germination and some morphological and physiological parameters of 10-day-old seedlings of various plant species. *Environmental Protection and Natural Resources.* 2015;26(3):22-27. https://doi.org/10.1515/oszn-2015-0009
21. Rahman S.U., Qin A., Zain M., et al. Pb uptake, accumulation, and translocation in plants: Plant physiological, biochemical, and molecular response: a review. *Heliyo*n. 2024;10(6):e27536. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27724
22. Liu D., Li T.Q., Jin X.F., et al. Lead induced changes in the growth and antioxidant metabolism of the lead accumulating and non-accumulating ecotypes of Sedum alfredii. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2008;50(2):129-140. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00608.x
23. Mukhtar S.M., Bhatti H.N., Muhammad Khalid M.K., et al. Potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) for phytoremediation of nickel (Ni) and lead (Pb) contaminated water. *Pakistan Journal of Botany*. 2010;42:4017-4026.
24. Горовая А.И., Орлов Т.В., Ковтун В.А. Гуминовые вещества: Оценка их биологического действия и перспективы применения. *Экология и ноосферология*. 2002;12(3-4):56-63.

Gorovaya A.I., Orlov T.V., Kovtun V.A. Humic substances: Assessment of their biological action and application prospects. *Ecology and Noospherology*. 2002;12(3-4):56-63. (In Russ.)

25. Попов А.И. *Гуминовые вещества: свойства, строение, образование*. Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербург. ун-та, 2004.248.
Popov A.I. *Humic Substances: Properties, Structure, Formation*. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University, 2004.248. (In Russ.)
26. Patra M., Bhowmik N., Bandopadhyay B., et al. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*. 2004;52(3):199-223. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.02.009
27. Pinho S., Ladeiro B. Phytotoxicity by lead as heavy metal focus on oxidative stress. *Journal of Botany*. 2012;1:369572. https://doi.org/10.1155/2012/369572

Сведения об авторах

Бесчетников Владимир Владимирович —
аспирант, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
https://orcid.org/0000-0002-5927-3076
SPIN-код: 4891-1151
beschetnikov@sfedu.ru

Безуглова Ольга Степановна —
доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия
https://orcid.org/0000-0003-4180-4008
SPIN-код: 1553-9142
lola314@mail.ru

About the authors

Vladimir V. Beschetnikov —
Postgraduate student, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
https://orcid.org/0000-0002-5927-3076
beschetnikov@sfedu.ru

Olga S. Bezuglova —
Dr. Sci. (Biol.), Prof., Professor of the Department of Soil Science and Land Resources Assessment, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
https://orcid.org/0000-0003-4180-4008
lola314@mail.ru



www.vapk26.ru
vapk@stgau.ru