

УДК 631.95:631.461:504:577.1

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.35>

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ І БІОТЕХНОЛОГІЙ НА ВИРОБНИЦТВО ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ НА ПРИКЛАДІ НІШЕВИХ КУЛЬТУР

Алпатова О.М. – доцент кафедри екології

та природоохоронних технологій,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0003-0803-9850

Кравчук-Ободзінська Т.В. – старший викладач кафедри екології

та природоохоронних технологій,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0000-0002-1898-2837

Сікач Т.І. – старший викладач кафедри екології

та природоохоронних технологій,

Державний університет «Житомирська політехніка»

orcid.org/0009-0001-1557-0992

Сучасні виклики зміни клімату, зростання попиту на якісне та здорове харчування, необхідність збереження природних ресурсів актуалізують потребу у виробництві екологічно безпечної харчової продукції на основі нішевих культур, здатних забезпечити високу поживну цінність та адаптивність до екстремальних умов. У статті розглянуто вплив кліматичних чинників та біотехнологічних підходів на формування врожайності та якості зернової продукції амаранту, кіноа, нуту та спельти. Дослідження проводилися у Лісостеповій зоні України в умовах змінного зволоження та під впливом інноваційних біопрепаратів, що включали біологічні добрива, біологічні засоби захисту та біостимулятори росту.

Отримані результати свідчать, що рівень зволоження істотно впливає на продуктивність досліджуваних культур. Найбільш стійкими до дефіциту вологи виявилися амарант і кіноа, у яких падіння врожайності не перевищувало 10–14 %. Натомість спельта та нут продемонстрували значні втрати врожайності – до 25–27 %, що вказує на їхню середню та високу чутливість до водного стресу. Водночас вміст білка залишався стабільно високим у нуту (до 20,1 %) та спельти (17,3 %), що підкреслює їхню харчову цінність навіть за несприятливих умов.

Використання біотехнологій сприяло підвищенню ефективності виробництва екологічно безпечної сировини. Найбільший приріст врожайності забезпечували біологічні добрива: у амаранту +15 % та зменшенні потреби в мінеральних добривах на 40 %, у кіноа – +12 % та –35 % відповідно. Біологічні засоби захисту підвищували врожайність нуту на 14 % при зростанні білковості на 2,5 %, тоді як біостимулятори на основі екстрактів морських водоростей сприяли покращенню продуктивності спельти на 10 % і збільшенню білка на 3,0 %. Застосування таких біопрепаратів дозволяє зменшити хімічне навантаження на агроєкосистеми та підтримувати природну родючість ґрунтів.

Отримані дані підтверджують перспективність інтеграції нішевих культур у систему сталого агровиробництва. Поєднання їх високої кліматичної пластичності з ефективними біотехнологічними рішеннями забезпечує підвищення врожайності та покращення якості харчової сировини за умов кліматичних змін. Застосування біологічних добрив, біологічних засобів захисту та біостимуляторів є ключовим елементом формування екологічно збалансованих технологій, що сприяють збереженню ґрунтових ресурсів, зниженню залежності від мінеральних добрив і підвищенню харчової цінності продукції. Отримані результати можуть бути використані для розробки науково обґрунтованих рекомендацій з вирощування нішевих культур в Україні та інших регіонах зі схожими кліматичними

умовами, сприяючи підвищенню продовольчої безпеки та адаптації сільського господарства до змін клімату.

Ключові слова: кліматологія, біологія, біотехнології, екологічна безпека, харчові продукти, екологія, продовольча безпека.

Alpatova O.M., Kravchuk-Obodzinska T.V., Sikach T.I. The impact of climatic conditions and biotechnologies on the production of ecologically safe food products on the example of niches cultures

Contemporary challenges of climate change, growing demand for high-quality and healthy food, and the need to conserve natural resources highlight the need to produce environmentally friendly food products based on niche crops that can provide high nutritional value and adaptability to extreme conditions. The article examines the impact of climatic factors and biotechnological approaches on the formation of the yield and quality of amaranth, quinoa, chickpea, and spelt grain products. The research was conducted in the forest-steppe zone of Ukraine under conditions of variable moisture and under the influence of innovative biological products, including biological fertilizers, biological protection agents, and growth biostimulants.

The results obtained indicate that the level of moisture significantly affects the productivity of the crops studied. Amaranth and quinoa proved to be the most resistant to moisture deficiency, with a yield decline of no more than 10–14%. In contrast, spelt and chickpeas showed significant yield losses of up to 25–27%, indicating their moderate to high sensitivity to water stress. At the same time, the protein content remained consistently high in chickpeas (up to 20.1%) and spelt (17.3%), which emphasizes their nutritional value even under unfavorable conditions.

The use of biotechnology has contributed to increasing the efficiency of environmentally friendly raw material production. Biological fertilizers provided the greatest increase in yield: +15% for amaranth and a 40% reduction in the need for mineral fertilizers, and +12% and -35% for quinoa, respectively. Biological protection agents increased chickpea yields by 14% with a 2.5% increase in protein content, while biostimulants based on seaweed extracts contributed to a 10% improvement in spelt productivity and a 3.0% increase in protein. The use of such biological products reduces the chemical load on agroecosystems and maintains natural soil fertility.

The data obtained confirm the promising prospects for integrating niche crops into the sustainable agricultural production system. Combining their high climatic plasticity with effective biotechnological solutions ensures increased yields and improved quality of food raw materials in the context of climate change. The use of biological fertilizers, biological protection agents, and biostimulants is a key element in the formation of environmentally balanced technologies that contribute to the conservation of soil resources, reduce dependence on mineral fertilizers, and increase the nutritional value of products. The results obtained can be used to develop scientifically sound recommendations for growing niche crops in Ukraine and other regions with similar climatic conditions, contributing to increased food security and the adaptation of agriculture to climate change.

Key words: climatology, biology, biotechnology, environmental safety, food products, ecology, food security.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції глобальних кліматичних змін, що проявляються у підвищенні середньорічних температур, збільшенні частоти екстремальних погодних явищ та порушенні режимів зволоження, становлять серйозну загрозу для сталого агровиробництва та продовольчої безпеки. Нішеві культури, такі як амарант, кіноа, спельта та нут, розглядаються як нові перспективні сільськогосподарські культури для розширення асортименту екологічно безпечної харчової продукції завдяки їхній високій харчовій цінності та адаптивному потенціалу [1]. Однак їх вирощуванні в умовах України аграрії стикаються з низкою викликів, пов'язаних із частими посухами, весняними і осінніми приморозками, нерівномірністю розподілу опадів та деградацією ґрунтів.

Традиційні технології вирощування сільськогосподарських культур не завжди забезпечують належну продуктивність і якість врожаю за певних кліматичних умов, водночас збільшення кількості мінерального добрива та хімічного захисту культур призводить до погіршення екологічного стану агроландшафтів

і накопичення шкідливих речовин у продукції [2]. Це суперечить концепції сталого розвитку та зростаючим вимогам споживачів до безпечності та екологічності харчових продуктів.

Вирішення даної проблеми потребує впровадження нових біотехнологій, зокрема використання біологічних добрив, біологічних засобів захисту та біостимуляторів росту, здатних підвищувати адаптивність рослин, зменшувати залежність від мінеральних ресурсів і покращувати біохімічний склад врожаю [3,4].

Таким чином, постає науково-практична потреба у комплексній оцінці впливу кліматичних умов та сучасних біотехнологічних прийомів на продуктивність, якість і екологічну безпечність нішевих культур з метою розробки ефективних адаптаційних стратегій для умов змінного клімату та формування основ сталого виробництва екологічно безпечної харчової продукції в Україні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останні опубліковані наукові дослідження підтверджують, що поєднання кліматичного моделювання та біотехнологічних підходів є критично важливим для забезпечення виробництва екологічно безпечної харчової продукції, зокрема для нішевих культур.

Для сільськогосподарських культур, зокрема кіноа та амаранту, накопичена значна база наукових досліджень щодо їхньої толерантності до посухи та солонцюватих умов, огляди останніх років показують, що дані культури демонструють широкий спектр морфо-фізіологічних адаптацій (осморегуляція, коренева пластичність, високий антиоксидантний потенціал), а також вказують на практичну ефективність заходів з підвищення продуктивності за умов дефіциту вологи [1,8].

Досліджена концепція внесення біологічних добрив отримала значне емпіричне підґрунтя: огляди й дослідження свідчать про значне покращення росту рослин, покращення структури кореневої системи й зниження потреби у мінеральних добривах [5,7]. Це робить біодобрива важливим інструментом пом'якшення негативних екологічних наслідків інтенсифікації агровиробництва [2,3].

Також за останні роки значно розширились дослідження біостимуляторів (водоростеві екстракти, протеолітичні та амінокислотні препарати) та показано їхню здатність підвищувати стійкість рослин до абіотичних стресів, поліпшувати якість продукції [4,6].

Мета досліджень. Метою нашого дослідження є комплексне наукове обґрунтування впливу кліматичних умов та сучасних біотехнологічних рішень на формування врожайності й екологічної безпечності харчової сировини нішевих культур в агрокліматичних зонах України.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили у 2021–2024 роках на дослідних ділянках, розташованих у трьох агрокліматичних зонах України – Лісостепу, Полісся та Південного Степу. Для порівняння було обрано чотири нішеві культури, що характеризуються різним рівнем стійкості до абіотичних стресів: **амарант, кіноа, нут та спелъта**. Наші експерименти включали дослідження ефективності трьох груп біотехнологічних рішень, а саме біологічні добрива, біологічні засоби захисту, біостимулятори росту.

Результати досліджень. Багаторічний аналіз кліматичних даних (2021–2024 рр.) для основних агрокліматичних зон України – Лісостепу, Полісся та Південного Степу показав тенденцію до підвищення середньорічної температури на 0,9–1,3 °C та збільшення частоти кліматичних явищ. Зокрема, зросла кількість літніх посух, інтенсивність злив і повторюваність весняних та осінніх приморозків. Ці зміни призводять до скорочення або подовження вегетаційного періоду, нерівномірного зволоження ґрунтів та підвищеної температурної амплітуди, що безпосередньо

впливає на продуктивність нішевих культур, які зазвичай отримують меншу агро-технічну увагу, ніж традиційні зернові сільськогосподарські культури.

У польових дослідженнях 2021–2024 рр. було досліджено реакцію чотирьох перспективних нішевих культур, а саме амаранту, кіноа, нуту та спельти, на змінні умови зволоження та теплового режиму.

Таблиця 1

Продуктивність нішевих культур за різних умов зволоження

Культура	Врожайність, т/га (оптимальне зволоження)	Врожайність, т/га (дефіцит вологи)	Вміст білка, %
Амарант	3,1	2,8	16,5
Кіноа	3,5	3,0	14,2
Нут	2,2	1,6	20,1
Спельта	2,8	2,1	17,3

Результати наших досліджень показали, що серед досліджуваних культур найвища врожайність за оптимального зволоження спостерігалась у кіноа (3,5 т/га), що на 12–15 % перевищувало аналогічні показники амаранту (3,1 т/га) і спельти (2,8 т/га), та майже у 1,6 рази нуту (2,2 т/га). За умов дефіциту вологи всі культури знижували продуктивність, проте ступінь втрат істотно відрізнявся. Нут виявився найбільш чутливим до посухи, падіння врожайності на 27 % (з 2,2 до 1,6 т/га), що свідчить про критичну залежність даної культури від вологозабезпечення у період цвітіння. Спельта ж продемонструвала зниження на 25 % (з 2,8 до 2,1 т/га), що також свідчить про її значну вразливість до посушливих умов, особливо у фазі наливу зерна. Що ж стосується культур кіноа та амаранту, то тут результати свідчать про значно кращу толерантність до водного стресу, втрачаючи лише 14 % (з 3,5 до 3,0 т/га) та 10 % (з 3,1 до 2,8 т/га) відповідно, що підтверджує їхню придатність до вирощування в регіонах із недостатнім зволоженням.

Дослідження поживної цінності свідчить, що найбільш білковою культурою є нут, у зерні якого вміст білка досягає 20,1 %, що робить його перспективним джерелом рослинного протеїну для харчових і кормових цілей. Спельта та амарант також мають високий, проте дещо нижчий від нуту, показник білку – 17,3 % та 16,5 % відповідно. Кіноа, попри найвищу врожайність, показав найнижчий вміст білка (14,2 %), однак залишається цінною завдяки збалансованому амінокислотному складу.

Результати наших досліджень свідчать, що зміни клімату створюють як ризики, так і нові можливості для нішевих культур. Амарант і кіноа, завдяки фізіологічним механізмам посухостійкості та осморегуляції, можуть розширюватися у південніші регіони з підвищеним ризиком посухи. Натомість нут і спельта доцільно вирощувати в умовах Лісостепу або Полісся з адаптивними строками сівби та використанням технологій збереження ґрунтової вологи.

В умовах кліматичних змін і зростання частоти аномальних погодних явищ (посухи, теплові хвилі, нерівномірний розподіл опадів) впровадження біотехнологій у виробництво нішевих культур набуває надзвичайно важливого значення. Дослідження, проведені на амаранті, кіноа, нуті та спельті в умовах Полісся, Лісостепу та Південного Степу України, показали, що застосування біологічних добрив, засобів захисту та біостимуляторів росту дозволяє не лише зменшити

негативний вплив кліматичних умов, але й підвищити якість та екологічну безпечність продукції.

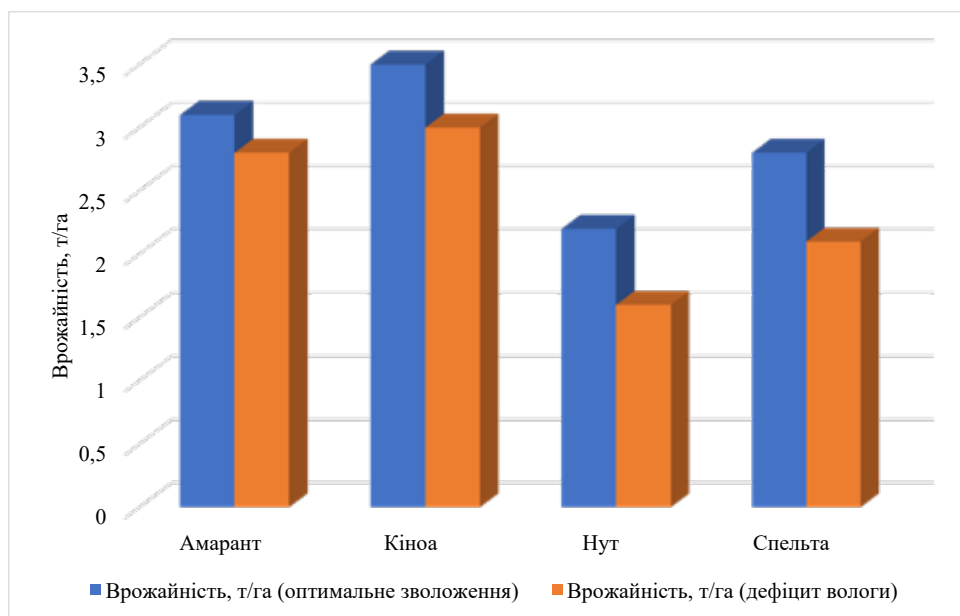


Рис. 1. Вплив умов зволоження на врожайність нішевих культур

Таблиця 2

Ефективність біотехнологічних засобів у вирощуванні нішевих культур

Біотехнологія	Культура	Приріст урожайності, %	Зростання вмісту білка, %	Зменшення потреби у мінеральних добривах, %
Біологічні добрива	Амарант	+15	+4,2	-40
Біологічні добрива	Кіноа	+12	+3,8	-35
Біозасоби захисту	Нут	+14	+2,5	–
Біостимулятори	Спельта	+10	+3,0	–

Результати наших досліджень свідчать про високу ефективність використання біотехнологічних засобів у підвищенні продуктивності та якості нішевих культур, що вирощуються за умов кліматичних змін. Використання біологічних добрив дало найбільш виражений ефект для амаранту та кіноа, приріст урожайності становив +15 % і +12 % відповідно, а потреба у мінеральних добривах зменшилася на 40 % та 35 %. Це свідчить про потенціал біодобрив як інструменту не лише для підвищення продуктивності та якості продукції, але й зниження антропогенного навантаження на ґрунти завдяки скороченню внесення мінеральних добрив.

Використання біологічних засобів захисту свідчить про значний позитивний вплив на врожайність нуту, забезпечивши її зростання на 14 %. Це підкреслює

роль мікробіологічних препаратів у зменшенні ризиків ураження патогенами та покращенні фізіолого-біохімічних процесів росту рослин без додаткових витрат мінеральних ресурсів.

Що ж стосується біостимуляторів, то вони також позитивно вплинули на продуктивність спельти: зафіксовано підвищення урожайності на 10 %. Хоча ефект від застосування біостимуляторів був менш вираженим порівняно з біодобривами, їх стабільна дія сприяла підвищенню стресостійкості рослин і оптимізації обміну речовин, що особливо важливо за умов підвищеної температури та нерівномірного зволоження.

Висновки. Проведені нами дослідження підтвердили, що вирощування кліматично стійких нішевих культур із застосуванням біотехнологічних підходів є ефективним шляхом підвищення продуктивності та якості екологічно безпечної харчової продукції. Амарант і кіноа продемонстрували найвищу толерантність до водного дефіциту, зберігаючи врожайність на рівні понад 80 % від контролю, тоді як нут і спельта виявилися більш чутливими до посушливих умов. Застосування біологічних добрив, біозасобів захисту та біостимуляторів забезпечило приріст урожайності на 10–15 % та зниження потреби у мінеральних добривах до 40 %, що сприяє зменшенню антропогенного навантаження на агроєкосистеми. Отримані результати доводять перспективність впровадження нішевих культур і біотехнологій у систему сталого агровиробництва для зміцнення продовольчої безпеки та адаптації сільського господарства до кліматичних змін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Akram M.Z., Libutti A., Rivelli A.R. Drought Stress in Quinoa: Effects, Responsive Mechanisms, and Management through Biochar Amended Soil. *A Review. Agriculture*. 2024. № 14. P. 1418.
2. Chaudhary P., Singh S., Chaudhary A., Sharma A., Kumar G. Overview of biofertilizers in crop production and stress management for sustainable agriculture. *Front. Plant Sci*. 2022. № 13. P. 340.
3. Bisht N., Chauhan P.S. Excessive and disproportionate use of chemicals cause soil contamination and nutritional stress. *Soil Cont. Thr. Sust. Sol*. 2020. № 6. P. 1–10.
4. Kapazoglou A., Gerakari M., Lazaridi E., Klefogianni K., Sarri E., Tani E., Bebeli P.J. Crop wild relatives: A valuable source of tolerance to various abiotic stresses. *Plants*. 2023. № 12. P. 328.
5. Begna T. Impact of drought stress on crop production and its management options. *Int. J. Res. Agron*. 2022. № 8. P. 1–13.
6. Boutahiri S., Benrkia R., Tembeni B., Idowu O., Olatunji O. Effect of biostimulants on the chemical profile of food crops under normal and abiotic stress conditions. *Current Plant Biology*. 2024. № 40, P. 410.
7. Романчук Л. Д., Кравчук-Ободзінська Т. В. Амарант і традиційні культури: біохімічна характеристика та перспективи використання. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. Випуск 4(108). С. 194–204.
8. Кравчук-Ободзінська Т.В. Біохімічний склад фітомаси амаранту залежно від сорту та системи удобрення. *Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України. Аграрні інновації*. 2024. № 28. С. 48–52.

Дата першого надходження рукопису до видання: 26.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 30.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025