

УДК 504:602:633.3:664

<https://doi.org/10.31713/vs2202612>

Романчук Л. Д. [1; ORCID ID: 0000-0003-4790-8414],

д.с.-г.н., професор

Кравчук-Ободзінська Т. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-1898-2837],

Ph.D., старший викладач,

¹Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ ТА БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ НА БЕЗПЕКУ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ (НА ПРИКЛАДІ ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР)

У статті представлено результати дослідження впливу кліматичних факторів та біотехнологічних підходів на безпеку харчової продукції на прикладі зернобобових культур. Метою роботи було комплексне дослідження впливу кліматичних факторів та сучасних біотехнологій на продуктивність, якість і екологічну безпечність продукції зернобобових культур на прикладі таких сільськогосподарських культур як горох, соя, нут та сочевиця. Дослідження проводили в польових умовах Житомирської області з використанням польових, лабораторних та статистичних методів аналізу.

Досліджено, що кліматичні умови істотно впливали на формування продуктивності зернобобових культур. Найкращі показники урожайності були зафіксовані у 2023 році за оптимального поєднання температурного режиму та достатньої вологості, тоді як найнижчі – у 2022 році внаслідок посушливих умов. Аналіз середніх показників за роки дослідження показав, що найвищу врожайність забезпечили такі досліджувані культури, як горох – 2,95 т/га та соя – 2,90 т/га, тоді як нут продемонстрував більшу стабільність продуктивності за умов дефіциту вологи.

Дослідження впливу інокуляції насіння на формування біохімічного складу насіння також показало позитивний ефект. Використання препарату на основі *Bacillus subtilis* сприяло підвищенню вмісту білка: у гороху – до 24,1%, сої – до 38,4%, у нуті – 23,0%, та у сочевиці – 25,6%. Також спостерігалось підвищення показників Fe та Zn, що значно підвищує харчову цінність продукції.

Доведено, що поєднання сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур та біотехнологічних прийомів є ефективним напрямом забезпечення стабільності врожайності та виробництва екологічно безпечної харчової продукції в умовах сучасних кліматичних змін.

Ключові слова: екологічна безпека; кліматологія; біотехнологія; харчова безпека; продовольча безпека; біохімічні показники; урожайність.

Постановка проблеми. Розвиток сучасного аграрного сектору відбувається під час активних кліматичних змін, деградації ґрунтів та інших природних ресурсів. Проте попит на екологічно безпечну харчову продукцію зростає з кожним роком [1]. Для більшості європейських країн основними ознаками стають підвищення середньорічної температури повітря, нерівномірний розподіл опадів, посухи, що негативно впливає на стабільне вирощування сільськогосподарських культур [2].

Особливо чутливими до змін навколишнього середовища є традиційні системи землеробства. Вони зосереджені на внесенні мінеральних добрив та застосуванні хімічних засобів захисту сільськогосподарських рослин, що збільшують собівартість продукції, проте і збільшують навантаження на агроєкосистеми [3].

У цьому питанні особливе місце посідають зернобобові культури, що мають високі показники рослинного білка, та є важливим компонентом продовольчої безпеки та сталого сільського господарства. Зернобобові сільськогосподарські культури збагачують ґрунт азотом, покращують структуру ґрунту та зменшують потребу рослин у синтетичних азотних добривах, що робить їх перспективними для аграрного сектору та продовольчої безпеки [4]. Крім того їх насіння характеризується високим вмістом білка, харчових волокон та біохімічних показників, що підвищує їх цінність в раціоні населення.

Також, зміни клімату значно впливають на продуктивність зернобобових культур. Значне зростання температури в період цвітіння, недостатня кількість вологи у фазі формування насіння, значне поширення хвороб та шкідників знижують врожайність та погіршують якість продукції [5]. Дані досліджень стверджують, що врожайність зернобобових культур у посушливі роки знижується на 20–40%. Це підтверджує необхідність впровадження нових адаптивних технологічних рішень.

Взаємозв'язок між кліматичними умовами, біотехнологічними підходами та формуванням екологічно безпечної продукції залишається недостатньо вивченими. Також потребує поглибленого вивчення видова адаптивність зернобобових культур до сучасних

агрокліматичних змін, ефективність біотехнологій для стабільної врожайності та покращенні показників мікро- та макроелементів [6].

Таким чином, актуальність обраної нами теми пояснюється необхідністю наукового обґрунтування впливу кліматичних змін та сучасних біотехнологій на вирощування зернобобових культур в Україні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження показують, що в агропромисловому комплексі найбільші екологічні наслідки спостерігаються саме в сільськогосподарському напрямі. Крім того, постійне зростання населення, яке, як прогнозується, досягне 9 мільярдів осіб до 2050 року, збільшує попит на продукти харчування більш ніж на 50%. Це посилює тиск на сільське господарство, збільшує кількість та якість вирощуваних культур [5].

Впровадження сучасних біотехнологій при вирощуванні зернобобових культур має важливе значення не лише для економічної та соціальної ефективності, але й для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Для вирішення цього питання першим кроком є проведення комплексних екологічних досліджень, що допоможе визначити основні наслідки для навколишнього середовища [6].

Крім того, продовольча сфера потребує вирощування сільськогосподарських культур, що є адаптованими до сучасних кліматичних умов, котрі є недорогими, смачними та затребуваними. Також користуються великим попитом екологічно чисті та здорові харчові продукти [7]. У такому контексті зернобобові культури відіграють важливу роль. Зернобобові культури, до яких належать горох, нут, соя та сочевиця, є чудовим джерелом білка (18–36%) в харчовому раціоні людини, багаті на вітаміни, клітковину та мікроелементи [8].

Зернобобові культури можна вирощувати у різних кліматичних умовах та на річних типах ґрунтів, окрім корисних властивостей, ці сільськогосподарські культури характеризуються також низьким впливом на навколишнє середовище під час вирощування [9].

Сільськогосподарські культури, такі як горох та нут, мають значно менші вимоги до землекористування, та потребують значно меншу кількість азоту для отримання гарного врожаю. Вони є чудовою альтернативою традиційним сільськогосподарським культурам, оскільки потребують значно менше води та мінеральних добрив [10; 11].

Таким чином, літературні джерела свідчать, що зернобобові культури є надзвичайно перспективним об'єктом дослідження, особливо в контексті поєднання кліматичних факторів, сучасних біотехнологій та виробництва екологічно безпечної харчової продукції.

Мета дослідження. Метою нашого дослідження є комплексна оцінка впливу кліматичних факторів та сучасних біотехнологій на продуктивність, якість і екологічну безпечність продукції зернобобових культур на прикладі таких сільськогосподарських культур як горох, соя, нут та сочевиця.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводились у 2022–2024 рр. в умовах Житомирської області, що характеризується помірним кліматом, нестійким зволоженням у період вегетації та дерново-підзолистими ґрунтами. Об'єктами дослідження були представники основних зернобобових культур – горох, нут, соя та сочевиця, що є поширеними у сільськогосподарському виробництві України. Дослідження проводились з триразовою повторністю, повтори розміщені в один ярус, а розміщення дослідних ділянок було систематичним.

Результати досліджень. Впродовж 2022–2024 років нами було проведено комплексні польові дослідження, спрямовані на аналізування впливу кліматичних умов та біотехнологій на формування врожайності та якості насіння основних зернобобових культур – гороху, нуту, сої та сочевиці на базі дослідних ділянок в Житомирській області.

Проведені нами дослідження підтвердили, що кліматичні зміни мають суттєвий вплив на продуктивність та якість зернобобових культур. Впродовж років дослідження кліматичні умови характеризувались значною мінливістю, відзначались роки з достатньою кількістю опадів, а також роки з дефіцитом опадів у критичні фази розвитку рослин. Також спостерігалось підвищення температури повітря в період активної вегетації та наливу зерна. Саме тому дані кліматичні умови дали змогу об'єктивно дослідити реакцію наших сортів на стресові фактори навколишнього середовища.

Таблиця 1

Урожайність зернобобових культур залежно від погодних умов, т/га

Культура	Урожайність, т/га			Середнє за 2022–2024 рр.
	2022 р.	2023 р.	2024 р.	
Горох	2,41	3,36	2,97	2,95
Соя	2,53	3,28	2,88	2,90
Нут	2,64	3,02	2,79	2,82
Сочевиця	2,34	2,71	2,48	2,51

Результати наших досліджень, свідчать про істотний вплив кліматичних умов на формування продуктивності досліджуваних культур. Найнижчі показники урожайності були відмічені у 2022 році, що пояснюється посушливими умовами у період вегетації, дефіцитом вологи в ґрунті та високим температурним режимом у критичні фази розвитку сільськогосподарських культур.

Найбільш сприятливі кліматичні умови для вирощування зернобобових культур були зафіксовані у 2023 році, що характеризувався оптимальним поєднанням температурного режиму та достатнім рівнем зволоження. Це сприяло максимальній реалізації біологічного потенціалу культур. Найвища врожайність спостерігалась у гороху – 3,36 т/га, дещо нижчі показники продемонстрували соя – 3,28 т/га, нут – 3,02 т/га, та сочевиця – 2,71 т/га.

У 2024 році кліматичні умови були помірно посушливими, що призвело до незначного зниження врожайності порівнюючи з попереднім 2023 роком, однак показники врожайності досліджуваних культур залишались кращими ніж у 2022 році. Відповідно у гороху врожайність становила 2,97 т/га, у сої – 2,88 т/га, у нуту – 2,79 т/га, та у сочевиці – 2,48 т/га.

Найкращі середні показники врожайності за 2022–2024 роки продемонстрували горох – 2,95 т/га та соя – 2,90 т/га, що характеризує дані культури як культури з високим продуктивним потенціалом. Водночас нут продемонстрував більш стабільну врожайність за річних кліматичних умов вирощування, що підтверджує його здатність адаптуватись до дефіциту вологи. Найнижчі середні показники продемонструвала сочевиця, проте ця культура також характеризується стабільною продуктивністю у всі досліджувані роки.

На сьогодні перспективним напрямом у сільському господарстві є підвищення продуктивності та покращення біохімічних показників зерна. Для цього найкращим та найбезпечнішим варіантом є застосування мікробіологічних препаратів для інокуляції насіння

перед посівом. Застосування корисних бактерій допомагає активізувати процеси росту та покращує мінеральне живлення культур, підвищує стійкість рослин до погіршення кліматичних умов, а також сприяє формуванню продукції з вищою харчовою цінністю. У зв'язку з цим є актуальним дослідження щодо впливу універсальних бактеріальних препаратів на біохімічні показники зернобобових культур (табл. 2).

Саме тому для передпосівної інокуляції насіння досліджуваних культур використовували препарат на основі бактерії *Bacillus subtilis* з титром не менше 1×10^9 КУО/мл у нормі 1,0 л/т насіння.

Таблиця 2

Біохімічні показники зернобобових культур (2022–2024 рр.)

Культура	Варіант досліджу	Вміст білка, %	Жир, %	Клітковина, %	Fe, мг/кг	Zn, мг/кг
Горох	1	22,6±0,25	1,7±0,04	5,8±0,13	48±0,72	31±0,34
	2	24,1±0,32	1,8±0,03	6,1±0,15	54±0,65	36±0,41
Соя	1	36,2±0,44	18,9±0,15	5,2±0,23	62±0,39	39±0,67
	2	38,4±0,51	19,6±0,18	5,5±0,41	70±0,47	45±0,54
Нут	1	21,4±0,22	5,4±0,11	6,0±0,14	51±0,56	33±0,34
	2	23,0±0,21	5,8±0,09	6,4±0,19	58±0,67	38±0,45
Сочевиця	1	24,0±0,43	1,3±0,02	4,9±0,33	66±0,45	37±0,61
	2	25,6±0,52	1,4±0,05	5,2±0,41	74±0,41	42±0,45

Примітка: 1 – контроль; 2 – інокуляція

Результати нашого дослідження свідчать, що передпосівна інокуляція насіння позитивно впливає на формування біохімічних показників зерна всіх досліджуваних нами зернобобових культур. Найбільш помітний ефект спостерігався відносно білку та покращення мінерального складу.

Вміст білка у гороху зріс з 22,6% до 24,1%, а концентрація Fe та Zn підвищилась відповідно на 12,5 та 16,1%, відповідно, що свідчить про покращення азотного обміну рослин. Соя продемонструвала найбільші показники білка серед усіх досліджуваних культур – 38,4%, також зросли показники жиру – 19,6%. Показники Zn та Fe також підвищились на 15,4 та 12,9%.

Вміст білка в нуті зріс на 1,6%, тоді як клітковина зросла лише на 0,4%. Отримані нами результати вказують на доцільність

використання даних біотехнологій для покращення харчової цінності зерна нуту, особливо при недостатньому зволожені. У зерні сочевиці відмічалось значне збільшення вмісту Fe – до 74 мг/кг, що також підвищує харчову цінність культури, та робить її цінним джерелом мікроелементів.

Результати дослідження підтверджують, що застосування інокуляції при посіві досліджуваних культур позитивно впливають не лише на формування високої врожайності, а й покращує їх біохімічні показники. Тому цей біотехнологічний прийом вважається ефективним елементом технології вирощування екологічно безпечної та функціонально цінної харчової продукції.

Висновки. Результати проведених нами досліджень впродовж 2022–2024 років доводять, що кліматичні фактори мають надзвичайно важливий вплив на формування врожайності та біохімічні показники зернобобових культур. Зміна погодних умов, зокрема значний дефіцит вологи у критичні вегетаційні періоди, підвищення температурного режиму в період наливу зерна погіршують продуктивність та якість зерна досліджуваних культур та погіршують стабільність виробництва харчової сировини. Найкращі сприятливі умови для формування гарного врожаю було зафіксовано у 2023 році, тоді як у 2022 році спостерігались найнижчі показники врожайності через посушливі кліматичні умови.

Також доведена ефективність застосування біотехнології щодо передпосівної інокуляції насіння біопрепаратом на основі бактерії *Bacillus subtilis*. Застосування цієї технології позитивно впливало на біохімічні показники зерна наших зернобобових культур, також сприяло покращенню мінерального живлення рослин та підвищувало стійкість до несприятливих кліматичних умов.

Таким чином, вирощування зернобобових культур з високими адаптаційними властивостями та впровадження сучасних біотехнологічних підходів є ефективним шляхом підвищення безпеки харчової продукції в умовах змін клімату. Застосування сучасних біотехнологій при вирощуванні сільськогосподарських культур дозволяє не лише стабілізувати врожайність, а й допомагає формувати екологічно безпечну продукцію зі значно кращими біохімічними характеристиками.

1. Voisin A. S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M. H., Magrini M. B., Meynard J. M., Pelzer E. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review: A.-S. Voisin et al. *Agronomy for Sustainable Development*. 2014. Vol. 34(2). Pp. 361–380.
2. Романчук Л. Д., Голуб В. О., Кравчук-Ободзінська Т. В. Біотехнологічні підходи до підвищення екологічної безпеки виробництва харчової продукції в умовах кліматичних змін (на прикладі злакових культур). *Екологічні науки* : науково-

практичний журнал. 2025. Вип. 5(62). Том 2. С. 179–183. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.29> 3. Stagnari F., Maggio A., Galieni A. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2017. Vol. 4. Pp. 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1> 4. Романчук Л. Д., Кравчук-Ободзінська Т. В. Амарант і традиційні культури: біохімічна характеристика та перспективи використання. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Сільськогосподарські науки.* 2024. Вип. 4(108). С. 194–204. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs4202414> 5. 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. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.8> 6. Dave K., Kumar A., Dave N., Jain M., Dhanda P. S., Yadav A., Kaushik P. Climate Change Impacts on Legume Physiology and Ecosystem Dynamics: A Multifaceted Perspective. *Sustainability.* 2024. Vol. 16(14). Pp. 6026. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16146026> 7. Pérez R., Fernández C., Laca A., Laca A. Evaluation of Environmental Impacts in Legume Crops: A Case Study of PGI White Bean Production in Southern Europe. *Sustainability.* 2024. Vol. 16(18). Pp. 8024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16188024> 8. Laca A., Gancedo S., Laca A., Díaz M. Assessment of the environmental impacts associated with vineyards and winemaking. A case study in mountain areas. *Environmental Science and Pollution Research.* 2021. Vol. 28(1). Pp. 1204–1223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10567-9> 9. Schwember A. R. Stimulating legume production for a more sustainable and nutritious agriculture. *Am J Biomed Sci Res.* 2020. Vol. 8(6). Pp. 521–523. DOI: <https://doi.org/10.34297/AJBSR.2020.08.001331> 10. Bandekar P. A., Putman B., Thoma G., Matlock M. Cradle-to-grave life cycle assessment of production and consumption of pulses in the United States. *Journal of Environmental Management.* 2022. Vol. 302. Pp. 114062. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114062> 11. Cusworth G., Garnett T., Lorimer J. Agroecological break out: Legumes, crop diversification and the regenerative futures of UK agriculture. *Journal of Rural Studies.* 2021. Vol. 88. Pp. 126–137. 12. Heusala H., Sinkko T., Sözer N., Hytönen E., Mogensen L., Knudsen M. T. Carbon footprint and land use of oat and faba bean protein concentrates using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production.* 2020. Vol. 242. Pp. 118376. 13. Yanni A. E., Iakovidi S., Vasilikopoulou E., Karathanos V. T. Legumes: A vehicle for transition to sustainability. *Nutrients.* 2023. Vol. 16(1). Pp. 98. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16010098>.

REFERENCES:

1. Voisin A. S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M. H., Magrini M. B., Meynard J. M., Pelzer E. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review: A.-S. Voisin et al. *Agronomy for Sustainable Development.* 2014. Vol. 34(2). Pp. 361–380. 2. Романчук Л. Д., Holub V. O., Kravchuk-Obodzinska T. V. Biotekhnologichni pidkholdy do pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky vyrobnytstva kharchovoi produktsii v umovakh klimatichnykh zmin (na prykladi zlakovykh kultur). *Ekolohichni nauky : nauko-vo-praktychnyi zhurnal.* 2025. Vyp. 5(62). Tom 2. S. 179–183. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.2.29> 3. Stagnari F., Maggio A., Galieni A. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem.*

Biol. Technol. Agric. 2017. Vol. 4. Pp. 2. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>. **4.** Romanchuk L. D., Kravchuk-Obodzinska T. V. Amarant i tradytsiini kultury: biokhimichna kharakterystyka ta perspektyvy vykorystannia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Silskohospodarski nauky*. 2024. Vyp. 4(108). S. 194–204. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs4202414>. **5.** Kravchuk-Obodzinska T. V. Biokhimichni sklad fitomasy amarantu zalezno vid sortu ta systemy udobrennia / Instytut klimatychno oriietovanoho silskoho hospodarstva Natsionalnoi akademii ahrarnykh nauk Ukrainy. *Ahrarni innovatsii*. 2024. № 28. S. 48–52. DOI: <https://doi.org/10.32848/ahar.innov.2024.28.8>. **6.** Dave K., Kumar A., Dave N., Jain M., Dhanda P. S., Yadav A., Kaushik P. Climate Change Impacts on Legume Physiology and Ecosystem Dynamics: A Multifaceted Perspective. *Sustainability*. 2024. Vol. 16(14). Pp. 6026. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16146026>. **7.** Pérez R., Fernández C., Laca A., Laca A. Evaluation of Environmental Impacts in Legume Crops: A Case Study of PGI White Bean Production in Southern Europe. *Sustainability*. 2024. Vol. 16(18). Pp. 8024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16188024>. **8.** Laca A., Gancedo S., Laca A., Díaz M. Assessment of the environmental impacts associated with vineyards and winemaking. A case study in mountain areas. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28(1). Pp. 1204–1223. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10567-9>. **9.** Schwember A. R. Stimulating legume production for a more sustainable and nutritious agriculture. *Am J Biomed Sci Res*. 2020. Vol. 8(6). Pp. 521–523. DOI: <https://doi.org/10.34297/AJBSR.2020.08.001331>. **10.** Bandekar P. A., Putman B., Thoma G., Matlock M. Cradle-to-grave life cycle assessment of production and consumption of pulses in the United States. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 302. Pp. 114062. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114062>. **11.** Cusworth G., Garnett T., Lorimer J. Agroecological break out: Legumes, crop diversification and the regenerative futures of UK agriculture. *Journal of Rural Studies*. 2021. Vol. 88. Pp. 126–137. **12.** Heusala H., Sinkko T., Sözer N., Hytönen E., Mogensen L., Knudsen M. T. Carbon footprint and land use of oat and faba bean protein concentrates using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 242. Pp. 118376. **13.** Yanni A. E., Iakovidi S., Vasilikopoulou E., Karathanos V. T. Legumes: A vehicle for transition to sustainability. *Nutrients*. 2023. Vol. 16(1). Pp. 98. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu16010098>.

Romanchuk L. D. [1; ORCID ID: 0000-0003-4790-8414],

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

Kravchuk-Obodzinska T. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-1898-2837],

Ph.D., Senior Lecturer

¹Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr

IMPACT OF CLIMATIC FACTORS AND BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES ON FOOD SAFETY (USING LEGUMES AS AN EXAMPLE)

This article presents the results of a study on the impact of climatic factors and biotechnological approaches on food safety, using leguminous crops as an example. The aim of the study was to conduct a comprehensive investigation of the impact of climatic factors and modern biotechnologies on

the productivity, quality, and environmental safety of legume crops, using crops such as peas, soybeans, chickpeas, and lentils as examples. The study was conducted under field conditions in the Zhytomyr region using field, laboratory, and statistical methods of analysis.

The study found that climatic conditions had a significant impact on the productivity of grain legumes. The highest yields were recorded in 2023, when there was an optimal combination of temperature and sufficient moisture, while the lowest yields were recorded in 2022 due to drought conditions. An analysis of average yields over the study period showed that the highest yields were achieved by crops such as peas (2.95 t/ha) and soybeans (2.90 t/ha), while chickpeas demonstrated greater yield stability under conditions of moisture deficit.

A study of the effect of seed inoculation on the formation of the biochemical composition of seeds also showed a positive effect. The use of a *Bacillus subtilis*-based preparation contributed to an increase in protein content: in peas – up to 24.1%, in soybeans – up to 38.4%, in chickpeas – 23.0%, and in lentils – 25.6%. An increase in Fe and Zn levels was also observed, which significantly enhances the nutritional value of the products.

It has been proven that the combination of modern crop cultivation technologies and biotechnological methods is an effective approach to ensuring stable yields and the production of environmentally safe food products under the conditions of modern climate change.

Keywords: environmental safety; climatology; biotechnology; food safety; food security; biochemical indicators; crop yield.

Отримано / Received: 25.04.2026
Прийнято до друку / Accepted: 25.05.2026
Опубліковано / Published: 29.05.2026



© 2026 [Romanchuk L. D., Kravchuk-Obodzinska T. V.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)