

УДК 633.31/37:631.95: 631.811.98: 581.132
DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.1.19>

ВПЛИВ ФІЗІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА РОСТОВІ ПРОЦЕСИ ТА ВМІСТ ХЛОРОФІЛУ В РОСЛИНАХ КУКУРУДЗИ

Коробко О.О. – к.с.-г.н.,

викладач кафедри агрономії, біології та екології,

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

orcid.org/0000-0002-4111-9003

Литвин В.А. – к.х.н.,

доцент кафедри агрономії, біології та екології,

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

orcid.org/0000-0003-1236-6344

Черненко Л.М. – викладачка хімії та біології і екології,

Державний навчальний заклад «Ірклієвський професійний аграрний ліцей»

orcid.org/0009-0003-6195-0931

Пристаїло О.А. – студент II курсу,

Державний навчальний заклад «Ірклієвський професійний аграрний ліцей»

orcid.org/0009-0008-9624-7919

У статті висвітлено результати експериментальних досліджень впливу фізіологічно активних речовин (препарату Регоплант, наноконкомпозиту (НК) гумату срібла та наночастинок срібла) на схожість насіння, ріст і розвиток рослин кукурудзи в умовах модельованої ґрунтової системи Лівобережного Лісостепу України. Дослідження проведено у 2024 році в лабораторіях Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького і ДНЗ «Ірклієвський професійний аграрний ліцей». Встановлено, що препарати як у самотійному застосуванні, так і в комбінаціях, по-різному впливали на польову та лабораторну схожість, висоту рослин і вміст хлорофілу в листках. Для гібриду кукурудзи «Інтелегенс» позитивний ефект проявився у зростанні висоти рослини на 21,5% під дією гумату срібла та підвищенні вмісту хлорофілу *b* на 67,6% при використанні наночастинок срібла. Комбінації препаратів (препарату Регоплант, наноконкомпозиту (НК) гумату срібла та наночастинок срібла) демонстрували як стимулювальну, так і інгібуючу дію, що свідчить про складну взаємодію між їх компонентами. Гібрид «Богатир» виявив більшу чутливість до обробок: у нього спостерігалися значні коливання схожості, а також зниження вмісту хлорофілу *b* на 35–71% у варіантах з гуматом та комбінаціями препаратів. Найбільш стабільний позитивний ефект для обох гібридів забезпечував наноконкомпозит гумату срібла, який сприяв підвищенню схожості та активізації ростових процесів. Отримані результати підтверджують перспективність використання нанопрепаратів як ефективних регуляторів росту кукурудзи та підкреслюють необхідність їх підбору з урахуванням гібридових особливостей і дозування. Застосування таких речовин може розглядатися як складова інтегрованих технологій вирощування кукурудзи, спрямованих на підвищення продуктивності культур та зниження пестицидного навантаження на агроєкосистеми.

Ключові слова: кукурудза, фотосинтез, хлорофіл, гербіцид, регулятор росту рослин.

Korobko O.O., Lytvyn V.A., Chernenko L.M., Prystailo O.A. Biological substantiation of the action of physiologically active substances on maize plants under the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine

The article presents the results of experimental research on the influence of physiologically active substances (Regoplant, silver humate nanocomposite (SHNC), and silver nanoparticles) on maize seed germination, plant growth, and development under the conditions of a model soil system in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The study was conducted in 2024 at the laboratories of Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy and the Irklyiv Vocational

Agrarian Lyceum. It was established that the tested preparations, both when applied individually and in combinations, had different effects on field and laboratory germination, plant height, and chlorophyll content in the leaves. For the maize hybrid Intelligence, a positive effect was observed in the form of a 21.5% increase in plant height under silver humate treatment and a 67.6% increase in chlorophyll b content when silver nanoparticles were applied. The combinations of preparations (Regoplant, SHNC, and silver nanoparticles) demonstrated both stimulatory and inhibitory effects, indicating complex interactions between their components. The hybrid Bohatyr showed greater sensitivity to treatments, as manifested by considerable fluctuations in germination rates and a decrease in chlorophyll b content by 35–71% in the variants with silver humate and combined treatments. The most stable positive effect for both hybrids was ensured by the silver humate nanocomposite, which contributed to improved germination and enhanced growth processes. The obtained results confirm the prospects of using nanobiopreparations as effective growth regulators of maize and emphasize the importance of selecting them considering hybrid-specific traits and dosages. The application of such substances may be regarded as part of integrated maize cultivation technologies aimed at increasing crop productivity while reducing pesticide load on agroecosystems.

Key words: maize, seed germination, silver nanoparticles, nanocomposite, chlorophyll, growth regulators.

Постановка проблеми. Висока врожайність різних сільськогосподарських культур насамперед залежить від якісних показників ґрунту. А саме – від вмісту у ньому гумусу, рівню рН, кількості макро- та мікроелементів, водостійкості, наявності позитивної мікрофлори тощо.

Ґрунти України всіх кліматичних зон відзначаються дефіцитом поживних елементів та наявністю деградацій, серед яких: дегуміфікація, зменшення вмісту поживних речовин, переущільнення, кіркоутворення, ерозія, підкислення, заболочування, забруднення радіонуклідами та важкими металами [1].

І тому, актуальною проблемою сьогодення є вивчення впливу фізіологічно активних речовин на рослинні організми з метою ефективності їх застосування для підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних даних показує, що наночастинки срібла відіграють важливу роль у підвищенні схожості насіння [2] та росту рослин [3], а також сприяють ефективному використанню води та добрив [4]. Автори роботи [5] встановили, що розчини наночастинок срібла концентрацією 0.05–2.5 мг/мл значно прискорюють швидкість проростання насіння та посилюють ріст розсади кукурудзи, кавуна та цукіні порівняно з необробленими рослинами. Не зважаючи на відому ростостимулюючу активність препаратів гумінових речовин [3] та наночастинок срібла [6], на сьогодні відсутня інформація про вплив на ростові процеси композитів, що містять у своєму складі наночастинки срібла, інкапсульовані в макромолекули з синтетичних гумінових речовин. Очікується, що такі комбіновані нанопрепарати будуть володіти посиленими та взаємодоповнюючими властивостями металічного ядра та оболонки з синтетичних гумінових речовин [3].

Разом з тим, надзвичайно важливо приділяти увагу питанню відновленню родючості ґрунту та зниження пестицидного навантаження на навколишнє середовище [7]. За даними Journal of Environmental Management, понад 33% ґрунтів Землі вже деградовані, а до 2050 року можуть деградувати понад 90%. Причиною цього є зменшення вмісту органічної речовини в ґрунті, яка впливає на поглинання рослинами мікро- та макроелементів, інтенсивність фотосинтезу [8], стійкість до патогенів та споживання поживних речовин між мікроорганізмами. Європейські ґрунти є домішкою для понад 25% світового біорізноманіття і виступають значним резервуаром Карбону. Однак, якщо якість ґрунтів продовжуватиме знижуватися,

це безпосередньо вплине на біорізноманіття та посилить зміну клімату. Оскільки менш здоровий ґрунт не здатний в повній мірі вловлювати та зберігати вуглекислий газ [8, 9, 10, 11].

Враховуючи дану ситуацію, терміново потрібні нові рішення та більш ефективна реалізація аграрної політики щодо досягнення значного поліпшення стану ґрунтів. Наприклад, практика сталого землеробства, яка зменшує використання хімікатів і сприяє накопиченню органічних речовин у ґрунті, може бути одним із способів поліпшення його «здоров'я». Крім того, слід заохочувати відновлення та переробку земель у містах, щоб зменшити ерозію та забруднення ґрунтів.

Мета й завдання дослідження: Метою роботи було дослідити вплив деяких фізіологічно активних речовин (Регопланту, нанокompозиту гумату та наночастинок срібла) на схожість насіння кукурудзи, а також на ріст та розвиток рослин в модельованій ґрунтовій системі.

Методика досліджень. Експериментальну частину роботи виконано упродовж 2024 рр. у лабораторних умовах кабінеті «Хімія і біологія» Державного навчального закладу «Іркліівський професійний аграрний ліцей» та в лабораторії агробіологічних досліджень ННІ природничих та аграрних наук Черкаського національного університету ім. Б. Хмельницького в межах виконання науково-пошукової роботи МАН. Схема досліду включала варіанти з використанням біологічно активних речовин Регоплант, нанокompозит (НК) гумату срібла та наночастинок срібла (Ag). Для приготування розчинів гумату та наночастинок срібла брали співвідношення 1:1000. В роботі для досліджень використовували районовані гібриди кукурудзи гібрид «Інтелегенс» [12] та гібрид «Богатир» [13].

Варіанти використовуваних розчинів: Без стимуляторів (контроль); Регоплант; НК Гумат срібла; Наночатинки Ag; Регоплант + НК Гумат срібла; Регоплант + Наночатинки Ag; Регоплант + НК Гумат срібла + Наночатинки Ag. Вміст у листках хлорофілів *a* і *b*, їхня сума та співвідношення визначали спектрофотометричним методом [14] з наступним використанням для розрахунків формул D. Wettstein, спостереження за ростовими процесами рослин здійснювали вимірюванням 100 типових рослин у межах варіанту у трьох кратній повторності; статистичну обробку результатів досліджень проводили за методами дисперсійного та кореляційного аналізів [15].

Результати досліджень. Інтенсивність росту рослин може залежати від низки факторів, ключовим елементом якого є зменшується конкуренції з боку бур'янистої рослинності. Це можна забезпечити завдяки біологічно активним препаратам, які здатні інтенсифікувати ростові процеси [16].

За результатами дослідження у процесі вегетаційного пророщування кукурудзи залежно від використання біологічно активних речовин для гібриду «Інтелегенс» висота рослин за самостійної дії Регопланту збільшилася на 7,7% відносно контролю. За самостійного застосування НК Гумат срібла підвищив висоту рослин на 21,5%. Висота рослин за використання Наночастинок Ag зросла на 9,2%. В той же час за дії комбінації Регопланту та НК Гумат срібла знизила висоту на 64,6%. Поєднання Регопланту з Наночастинок Ag призвело до зниження висоти на 36,9%. Використання трьох препаратів (Регоплант, НК Гумат срібла, Наночастинок Ag) дало незначне зниження висоти рослини на 1,5% (рис. 1).

Щодо схожості рослин (польова схожість) за використання Регопланту схожість знизилася на 13,5%. За дії НК Гумат срібла забезпечив стабільний рівень схожості, без змін відносно контролю, в той же час дія Наночастинок Ag підвищила схожість на 4,5%. У варіанті з Регоплантом та НК Гумат срібла схожість знизилася на 5,6%. Комбінація Регопланту з Наночастинок Ag призвела до зниження

схожості на 14,6%. Трикомпонентне поєднання препаратів забезпечило стабільний рівень схожості, без змін (рис. 3.3.2).

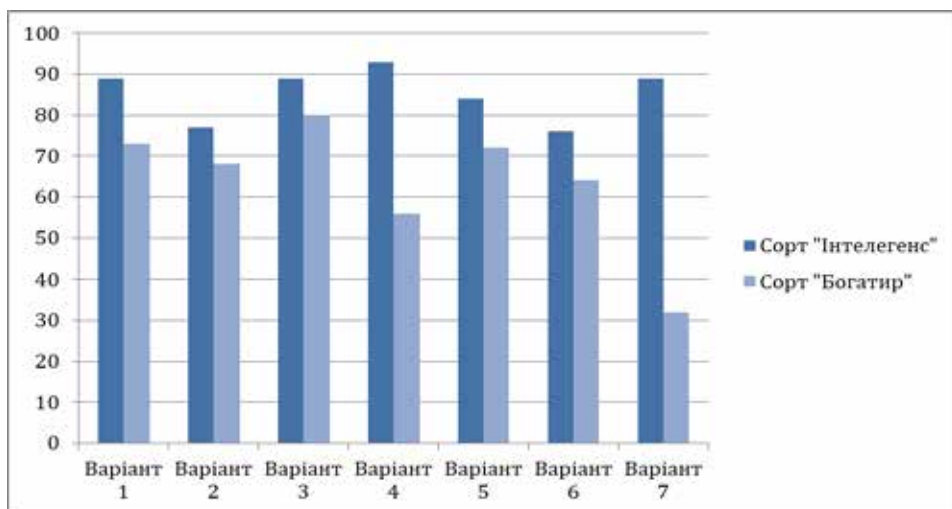


Рис. 1. Висота рослин кукурудзи (у см) залежно від застосування біологічно активних речовин

1. Контроль; 2. Регоплант; 3. НК Гумат срібла; 4. Наночатинки Ag; 5. Регоплант + НК Гумат срібла; 6. Регоплант + Наночастинки Ag; 7. Регоплант + НК Гумат срібла + Наночастинки Ag

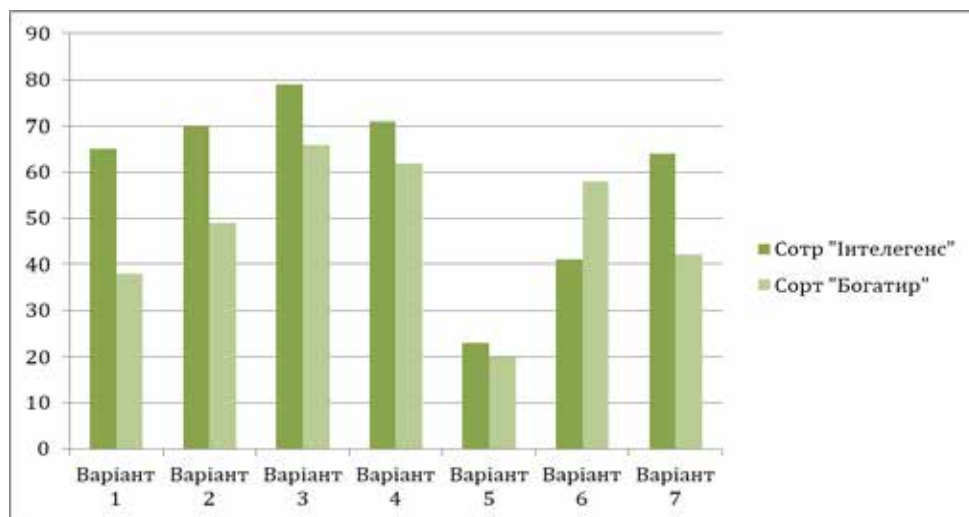


Рис. 2. Схожість рослин кукурудзи (у %) залежно від застосування біологічно активних речовин

1. Контроль; 2. Регоплант; 3. НК Гумат срібла; 4. Наночатинки Ag; 5. Регоплант + НК Гумат срібла; 6. Регоплант + Наночастинки Ag; 7. Регоплант + НК Гумат срібла + Наночастинки Ag

Для гібриду «Богатир» самостійна дія препарату Регоплант збільшила висоту рослин на 28,9%, НК Гумат срібла підвищив висоту на 73,7% та за використання наночастинок Ag забезпечило зростання висоти на 63,2%. Комбінація Регопланту та НК Гумат срібла спричинила зниження висоти на 47,4%. Регоплант у поєднанні з Наночастинки Ag підвищив висоту на 52,6%. Використання трьох препаратів призвело до незначного зростання висоти на 10,5% (див. рис. 1).

Відповідно у даному дослідженні буда подібна залежність у формуванні вегетаційної схожості. За самостійної дії біологічно активних препаратів, Регопланту схожість знизилася на 6,8%, НК Гумат срібла підвищив схожість на 9,6%, а Наночастинки Ag знизив на 23,3%. У комбінації Регопланту з НК Гумат срібла призвела до незначного зниження схожості на 1,4%. Регоплант у поєднанні з Наночастинки Ag знизив схожість на 12,3%.

Трикомпонентне застосування препаратів спричинило значне зниження схожості на 56,2% (див. рис. 2).

Отже, застосування біологічно активних речовин мало значний вплив на висоту рослин та їх вегетаційну схожість. Гібрид «Інтелегенс» демонстрував кращу стійкість та позитивну реакцію на використання препаратів, тоді як гібрид «Богатир» виявив чутливість до їх дії, що виражалось у значних коливаннях схожості. Такі результати підкреслюють важливість підбору препаратів відповідно до гібридових особливостей рослин.

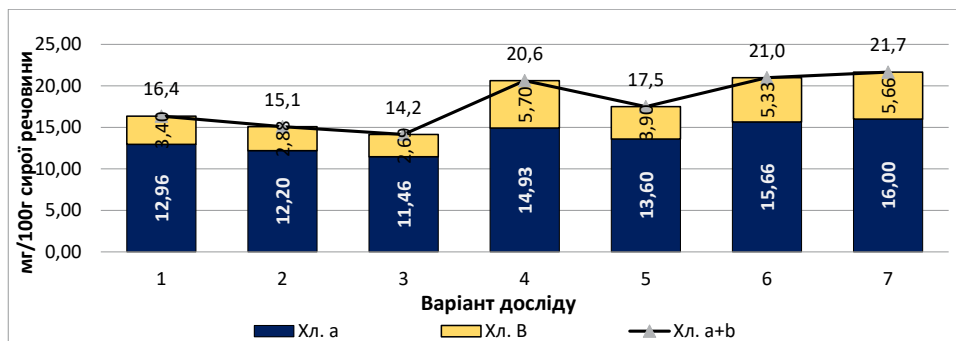


Рис. 3. Вміст хлорофілу у листках кукурудзи гібриду «Інтелегенс» за використання різних норм біологічно активних речовин

1. Контроль; 2. Регоплант; 3. НК Гумат срібла; 4. Наночастинки Ag; 5. Регоплант + НК Гумат срібла; 6. Регоплант + Наночастинки Ag; 7. Регоплант + НК Гумат срібла + Наночастинки Ag.

За результатами проведених досліджень встановлено, що вміст хлорофілів у листках кукурудзи гібриду «Інтелегенс» та «Богатир» значно змінювався залежно від застосованих біологічно активних речовин. Так, реакція гібриду «Інтелегенс» (рис. 3) у контрольному варіанті вміст хлорофілу а становив 12,96 мг/100 г, а хлорофілу б – 3,4 мг/100 г. Використання НК гумату срібла знизило вміст хлорофілу а на 11,6%, а хлорофілу б – на 20,9%. Застосування наночастинок срібла збільшило вміст хлорофілу а на 15,2%, а хлорофілу б – на 67,6%. Комбінація регопланту з наночастинок срібла підвищила вміст хлорофілу а на 20,8% і хлорофілу б на 56,8%. Використання трьох препаратів у поєднанні (регоплант, гумат срібла

та наночастинки срібла) забезпечило максимальне підвищення вмісту хлорофілу а на 23,4% та хлорофілу b на 66,4%.

Реакція гібриду «Богатир» (рис. 4) у контрольному варіанті вміст хлорофілу а становив 21,0 мг/100 г, а хлорофілу b – 10,66 мг/100 г. Гумат срібла знизив вміст хлорофілу а на 17,8%, а хлорофілу b – на 35%. Наночастинки срібла зменшили вміст хлорофілу а на 23,8%, а хлорофілу b – на 39,6%. Комбінація регопланту з гуматом срібла зменшила вміст хлорофілу а на 21,9% і хлорофілу b на 49%. Найбільше зниження вмісту хлорофілу спостерігалось у варіанті з трьома препаратами, де вміст хлорофілу а зменшився на 39,2%, а хлорофілу b – на 71%.

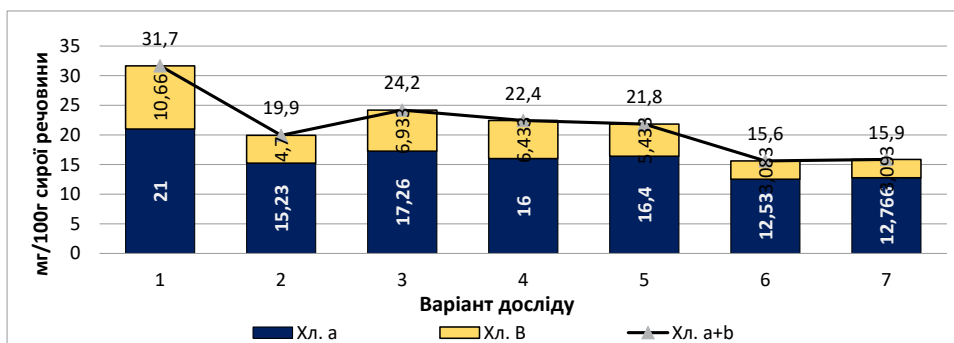


Рис. 4. Вміст хлорофілу у листках кукурудзи гібриду «Богатир» за використання різних норм біологічно активних речовин

1. Контроль; 2. Регоплант; 3. НК Гумат срібла; 4. Наночастинки Ag; 5. Регоплант + НК Гумат срібла; 6. Регоплант + Наночастинки Ag; 7. Регоплант + НК Гумат срібла + Наночастинки Ag.

Отже, гібрид «Інтелегенс» показав кращу стабільність та позитивну реакцію на застосування препаратів, особливо у варіантах із наночастинками срібла та їх комбінаціями. Гібрид «Богатир» виявився більш чутливим до дії препаратів, із суттєвим зниженням вмісту хлорофілу b у більшості варіантів. Це вказує на необхідність ретельного підбору препаратів і дозувань залежно від гібридових особливостей.

Висновки та перспективи подальших досліджень Гібрид «Інтелегенс» продемонстрував кращу реакцію на стимулювальну дію препаратів щодо енергії проростання, особливо при застосуванні «НК Гумат срібла». Однак лабораторна схожість у цього гібриду зазнала значного зниження у варіантах з комбінаціями препаратів. Гібрид «Богатир» виявився більш стабільним щодо лабораторної схожості, але показники енергії проростання варіювали залежно від препарату та його комбінації. Найбільш ефективним для обох гібридів був «НК Гумат срібла», який забезпечував стабільне підвищення показників.

Застосування біологічно активних речовин мало суттєвий вплив на висоту рослин та їх вегетаційну (польову) схожість. Гібрид «Інтелегенс» демонстрував кращу стійкість та позитивну реакцію на використання препаратів, тоді як гібрид «Богатир» виявив чутливість до їх дії, що виражалось у значних коливаннях схожості. Найкращі умови були сформовані за дії НК Гумату срібла, гібрид «Богатир» де висоти рослин зросла на 73,7%, а рівень схожості 9,6%, гібрид «Інтелегенс» – мав зростання на 21,5%.

Гібрид «Інтелегенс» демонстрував вищі рівні показників за дії досліджуваних препаратів, особливо у варіантах з «Наночастинками срібла» та їх комбінаціями Використання трьох препаратів у поєднанні (Регоплант, Гумат срібла та Наночастинки срібла) забезпечило максимальне підвищення вмісту хлорофілу *a* на 23,4% та хлорофілу *b* на 66,4%. У гібриду «Богатир» відзначено значне зниження вмісту хлорофілу *b* у всіх варіантах обробки, що свідчить про його чутливість до застосованих препаратів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Василенко А.М., Романенко В. М., Дмитренко О.В., Мелешко Ю.В. Агрохімічна характеристика ґрунтів Черкаської області. Охорона ґрунтів. Збірник наукових праць. Київ, 2020. С. 33–34.
2. Gunsolus I. L. Effects of Humic and Fulvic Acids on Silver Nanoparticle Stability, Dissolution, and Toxicity. *Environ Sci Technol*. 2015. № 7, 49(13). Р. 80–86. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26047330/> (дата звернення: 20.09.2025).
3. Литвин В., Семенова М., Сметенко Ю. Залізо-карбонові наноккомпозити на основі синтетичних гумінових речовин та їх магнітні властивості. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2022. № 1. С. 31–39.
4. Li, X., Zhi, Y., Jia, M. et al. Properties and photosynthetic promotion mechanisms of artificial humic acid are feedstock-dependent. 2024. *Carbon Res.* 3, 4. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44246-023-00085-x> (дата звернення: 18.09.2025).
5. Almutairi Z.M., Alharbi A. Effect of Silver Nanoparticles on seed germination of crop plants. *Int. J. Biol., Biomol., Agric., Food Biotechnol.* 2015. Vol. 9. № 6. Р. 551–555. URL: <https://rajpub.com/index.php/jaa/article/view/4295> (дата звернення 18.09.2025).
6. Литвин В.А., Запорожець А.В., Озівська І.О. Наноккомпозити срібла на основі синтетичних гумінових речовин як високоефективні стимулятори росту рослин. Вісник Черкаського університету. Біологічні науки. 2022. № 1. С. 44–55.
7. Карпенко В. П., Коробко О. О. Вплив гербіциду і біологічних препаратів на динаміку вмісту хлорофілів у листках нуту. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. Умань. 2018. № 93(1). С. 47–55. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/7464> (дата звернення 18.09.2025).
8. Карпенко В. П., Коробко О. О. Вплив гербіциду і біологічних препаратів на фотосинтетичну продуктивність і врожайність нуту. Вісник Миколаївського національного університету. Миколаїв. 2018. № 4(100). С. 48–54.
9. Карпенко В. П., Івасюк Ю. І., Оратівська С. А. Біологізована технологія вирощування бобових культур (соя, горох) / за ред. В. П. Карпенка. Умань : Видавничо-поліграфічний центр «Візаві», 2016. 24 с.
10. Карпенко В. П., Коробко О. О. Продуктивність нуту за впливу гербіциду і біологічних препаратів. Вісник Уманського національного університету садівництва. Умань. 2018. № 2. С. 64–67.
11. Korobko, O. O., Bilonozko, V. Y., Kuhniuk, O. V., Manziy, O. P., & Tytarenko, L. M. (2022). UK Оцінка дії гербіциду і біологічних препаратів на плішкості поверхні та урожайність нуту. *Cherkasy University Bulletin: Biological Sciences Series*. 2022. № 1. Р. 22–33.
12. Гібрид КВС Інтелегенс (кукурудза звичайна). Аграрії разом : веб-сайт. URL: <https://m.agrarii-razom.com.ua/culture-variety/kvs-intelegens> (дата звернення 14.09.2025).
13. Насіння кукурудзи Богатир – Гібриди КВС. Agro-seeds : веб-сайт. URL: <https://agro-seeds.com.ua/bogatir-ua> (дата звернення: 14.09.2024).
14. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ : ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. 320 с. URL: <http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/1547> (дата звернення 18.09.2025).

15. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / за ред. В. О. Єщенка. Київ : Дія. 2005. 288 с.

16. Грицаєнко З. М., Івасюк Ю. І. Анатомічна будова рослин сої за інтегрованого застосування гербіциду із рістстимулювальними препаратами. Вісник Уманського національного університету садівництва. 2014. № 2. С. 80–85.

Дата першого надходження рукопису до видання: 29.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 30.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025