

<https://doi.org/10.15407/frg2025.01.043>

УДК 631.5:631.8

ВПЛИВ БАКТЕРІАЛЬНИХ ІНОКУЛЯНТІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО

В.С. ЗАДОРЖНИЙ¹, О.О. ЧЕРНЕЛІВСЬКА¹, Є.В. САНІН²

¹Інститут кормів та сільськогосподарства Поділля Національної академії
аграрних наук України

21100 Вінниця, просп. Юності, 16

e-mail: v.zadorozhnyi@ukr.net

²Індіго Агрікалче Україна

04050 Київ, вул. Глибочицька, 13, корпус 1, офіс 1

e-mail: esanin@indigoag.com

Стимулювальна дія бактеріальних інокулянтів збільшує масу і довжину кореневої системи рослин, що підвищує ефективність поглинання води та поживних речовин з нижчих шарів ґрунту, збільшує урожай. Біологічні фунгіциди на основі бактерій забезпечують захист від основних патогенів сходів і рослин упродовж вегетації сільськогосподарських культур. Досліджували вплив бактеріальних інокулянтів біотринсик і30 ПС (*Bacillus simplex*) та біологічного фунгіциду-стимулятора біотринсик Х11 ПС (*Kosakonia cowanii* SYM00028) на ріст і розвиток рослин кукурудзи на зерно. Показано, що обробка насіння кукурудзи біотринсик Х11 стимулювала ріст і розвиток кореневої системи порівняно з контролем. Маса коренів зростала на 12—30 %. Висота рослин, оброблених біостимуляторами, перевищувала на 15—23 см рослини на контролі. Обробка насіння біотринсик Х11 забезпечила істотний приріст урожайності порівняно з контролем — на 0,37 т/га. Відзначено прибавку урожайності зерна кукурудзи за комплексної обробки насіння максим ХЛ 1 л/т + біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т + біотринсик і30 0,36 кг/т порівняно з максимумом ХЛ. Поєднання обробки біотринсик Х11 із біотринсик і30 забезпечило найвищу стимулювальну дію на рослини кукурудзи. У цьому варіанті спостерігалась найвища урожайність та істотна прибавка порівняно з контролем — на 0,43 т/га. Отримані результати дають підстави стверджувати, що обробка насіння кукурудзи бактеріальними препаратами стимулює ріст і розвиток рослин кукурудзи, знижує негативний вплив екологічних стресів в онтогенезі та зменшує ризик втрати врожаю. Біоінокулянти й біологічні фунгіциди стають невід’ємним елементом сучасних технологій вирощування кукурудзи на зерно.

Ключові слова: *Zea mais* L., бактеріальні інокулянти, біологічні фунгіциди, біотринсик і30 ПС, біотринсик Х11 ПС.

Кукурудза відіграє важливу роль у глобальних агропродовольчих системах. За останні десятиліття її світове виробництво стрімко зросло внаслідок зростання попиту, розширення площ посіву, технологічних

Цитування: Задоржний В.С., Чернелівська О.О., Санін Є.В. Вплив бактеріальних інокулянтів на урожайність кукурудзи на зерно. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 1. С. 43—55. <https://doi.org/10.15407/frg2025.01.043>

і селекційних досягнень [1]. Різноманітні чинники (демографічні, культурні, екологічні, технологічні, економічні й політичні) продовжують впливати на вартість кукурудзи та потребують зосередження зусиль на підвищенні глобальної продовольчої безпеки [2–4].

Кукурудза стала одним із основних генетично модифікованих організмів. Успіхи у селекції цієї культури пов'язані з розвитком технологій секвенування та генотипування, трансформації, включно редагування геному, технологій подвійних гаплоїдів, з розробкою нових підходів до селекції, що використовують геномну інформацію. Завдяки цим досягненням зростає потенціал урожайності, поживна цінність, стійкість до змін клімату, та підвищується ефективність захисту посівів кукурудзи від бур'янів, хвороб і шкідників [5, 6, 7].

Сільське господарство та клімат тісно пов'язані, оскільки прогнозовані зміни клімату є основною причиною біотичних та абіотичних стресів, які негативно впливають на урожайність сільськогосподарських культур, перешкоджають його сталому розвитку та загрожують продовольчій безпеці в усьому світі [8].

Зміна клімату, з одного боку, відкриває певні можливості для розвитку сільського господарства нашої країни, а з іншого — набуває актуальності перехід до кліматично орієнтованого сільського господарства [9, 10]. Адаптація сільськогосподарського виробництва до принципів «Зеленого курсу ЄС» має визначальне значення для України, як одного із провідних постачальників зерна кукурудзи на світовий ринок [11].

Важливе місце у цьому має розвиток кліматично орієнтованих технологій вирощування сільськогосподарських культур, які оптимізують використання ресурсів і зменшують вуглецевий слід. Диверсифіковані методи ведення сільського господарства та відповідні практики підвищують ефективність виробництва та сприяють зростанню експортного потенціалу. Невід'ємним елементом таких технологій є застосування біологічних стимуляторів, які протидіють негативним змінам клімату, підвищують стійкість культур до стресових умов, сприяють ефективному використанню мінеральних добрив, завдяки чому зростає врожайність. Впровадження біостимуляторів у сільськогосподарську галузь уможливить стійке підвищення врожайності сільськогосподарських культур, оскільки сучасне сільське господарство стикається з величезним зростанням попиту через подвійний тиск — ріст населення й погіршення стану довкілля [10, 11].

Біостимулятори рослин — це препарати біологічного походження, такі як природні сполуки, ферменти, регулятори росту рослин і мікроорганізми (гриби, бактерії тощо), які покращують продуктивність рослин завдяки новим властивостям їхньої взаємодії [16]. Спосіб/механізми їхньої дії різноманітні, включно активацію метаболізму азоту або вивільнення фосфору з ґрунтів, загальну стимуляцію мікробної активності ґрунту. Вони стимулюють проростання насіння, ріст коренів та збільшують поглинання поживних речовин із ґрунту, посилюють ріст рослин через посилення метаболізму, активізацію фотосинтезу, внаслідок чого підвищується продуктивність рослин. Біостимулятори пом'якшують негативний вплив чинників абіотично-

го стресу на рослини, зокрема посухи, спеки, засолення, охолодження, заморозків, окисного, механічного та хімічного стресів [15].

Бактеріальні інокулянти є дуже важливою категорією біостимуляторів рослин, їх найпомітніша група включає бактерії, що стимулюють ріст рослин, колонізують ризосферу [16]. Так, інокуляція бактеріальними препаратами покращує розвиток кореневої системи рослин кукурудзи. Це сприяє формуванню більшої та глибшої кореневої системи, яка ефективно поглинає воду й поживні речовини, що збільшує стійкість рослини до посухи і дефіциту поживних речовин. На рослини кукурудзи часто впливають різні стресові чинники, такі як посуха, спека, хвороби, шкідники та бур'яни. Біостимулятори можуть посилити природну стійкість рослин кукурудзи до таких стресорів, внаслідок стимулювання вироблення ферментів та антиоксидантів, пов'язаних зі стресом. Види *Bacillus* також добре відомі своєю здатністю діяти як агенти біологічного контролю через пригнічення фітопатогенів та захист рослин від хвороб [17].

Зростає інтерес до ролі біостимуляторів рослин у розробці альтернативних методів удобрення, підвищення ефективності нехімічних методів контролю шкідливих організмів, що одночасно забезпечує високі врожаї та ефективне використання ресурсів [18]. Загалом біостимулятори стали невід'ємним елементом сучасних технологій вирощування кукурудзи [19].

Біологічні фунгіциди — це препарати живих організмів, продукти їх життєдіяльності, що використовуються аграріями для захисту рослин в період їхньої вегетації від хвороб, які викликають грибні та бактеріальні збудники. Біологічні фунгіциди мають значний діапазон дії, що дає змогу захистити рослини від широкого спектра хвороб, зокрема пліснявіння насіння, корневих гнилей, снігової плісняви, борошнистої роси, бурої роси, фітофторозу, альтернаріозу, фузаріозу, фомозу, кокомікозу, бактеріозів і різного роду плямистостей і гнилей.

Метою нашої роботи було визначення впливу бактеріальних інокулянтів біотринсик і30 ПС (*Bacillus simplex*) та біологічного фунгіциду-стимулятора біотринсик Х11 ПС (*Kosakonia cowanii* SYM00028) на ріст і розвиток рослин кукурудзи та їх зернову продуктивність.

Методика

Польові досліді проводили на дослідному полі Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН, яке розміщене в Правобережному Лісостепу України (с. Бохоники, Вінницький р-н, Вінницька обл.).

Грунтовий покрив — сірі лісові опідзолені середньосуглинкові ґрунти, що характеризуються низьким вмістом гумусу — 2,2 %. Через недостатній вміст гумусу, мінеральних колоїдів ґрунти позбавлені агрономічно цінної структури. Значною вадою сірих лісових опідзолених ґрунтів є їх низька біологічна активність і, як наслідок, не досить сприятливий для рослин поживний режим. Так, вміст легкодіярозного азоту в шарі ґрунту 0—30 см становить 7,4 мг/100 г ґрунту, що відповідає дуже низькій забезпеченості ґрунту цим елементом і передбачає позитивну реакцію сільськогосподарських куль-

тур на внесення азотних добрив. Поряд із дефіцитом азоту вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту становить 15,8 мг на 100 г ґрунту, що показує дуже високу забезпеченість ґрунту цим елементом. Вміст обмінного калію становить 12,4 мг на 100 г ґрунту, що також відповідає високій забезпеченості ґрунту цим елементом.

Ґрунт дослідної ділянки — сірий лісовий середньосуглинковий за механічним складом. Вміст гумусу 2,34 %; рН (сольовий) — 5,4; легкогідролізованого азоту — 7,9 мг на 100 г ґрунту; рухомого фосфору — 16,4; обмінного калію — 14,1 мг на 100 г ґрунту.

Територія дослідного поля належить до зони з помірно континентальним кліматом. За даними Вінницького ЦГМ, середньорічна температура повітря тут становить $+7,0^{\circ}\text{C}$, а середньорічна сума опадів — 642 мм. Безморозний період триває 165—175 днів. Погодні умови вегетаційного періоду характеризувались підвищеними температурами (рис. 1).

Сума опадів була близькою до середньобагаторічної норми, проте характеризувалась нерівномірним їх розподілом (рис. 2). Упродовж

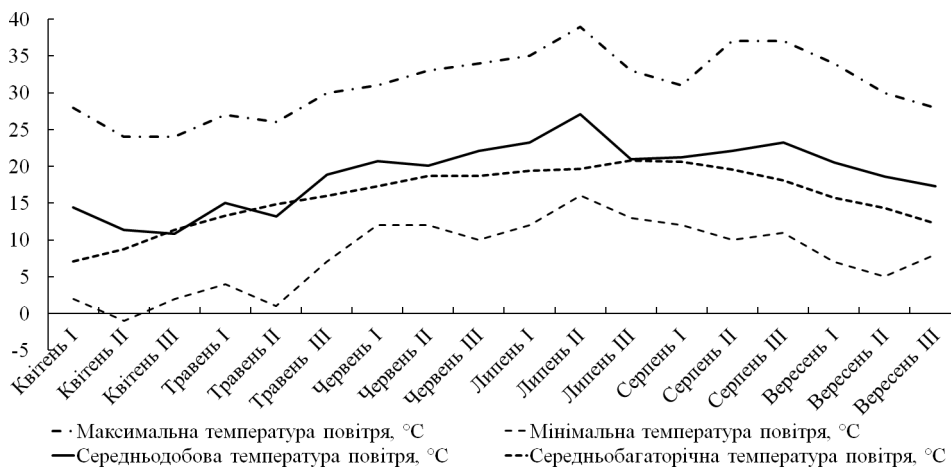


Рис. 1. Температура повітря за квітень—вересень 2024 р.

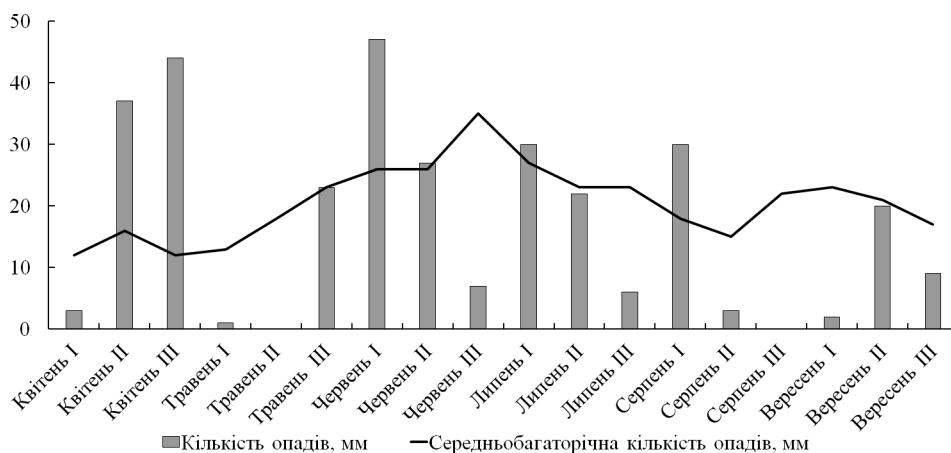


Рис. 2. Кількість опадів упродовж вегетаційного періоду 2024 р.

травня температура поступово підвищувалась без істотних опадів. Відсутність опадів, високі температури та низька відносна вологість повітря призводили до втрати вологи з верхніх шарів ґрунту. Такі погодні умови були малосприятливими для сільськогосподарських культур через дефіцит вологозабезпеченості.

У червні спостерігали неоднорідні агрометеорологічні умови з коливанням температур повітря та опадами різної інтенсивності. Опади поліпшили умови вегетації культур. Упродовж місяця погодні умови були задовільними для формування урожаю сільськогосподарських культур внаслідок достатнього тепло- і вологозабезпечення.

У липні утримувався значно вищий за норму температурний режим, максимальна температура перевищувала позначку +39 °С. Кількість опадів становила 15 мм, або 68 % середньобогаторічної декадної норми.

У серпні була суха сонячна погода з підвищеним температурним режимом повітря та опадами, що пройшли в першій декаді місяця.

Початок календарної осені характеризувався теплою без опадів погодою. Високі середньодобові температури повітря свідчать про продовження тривалості метеорологічного літа. Через відсутність опадів і посушливі умови попереднього періоду відчувався дефіцит вологозабезпеченості ґрунту, тривала ґрунтова посуха.

Досліди проводили з гібридом кукурудзи ДК3361. Під передпосівну культивуацію вносили аміачну селітру 100 кг/га. Насіння обробляли препаратами біотринсик і30 (*Bacillus simplex*), біотринсик Х11 (*Kosakonia cowanii* SYM00028), фунгіцидом максим ХЛ в день посіву. Посів кукурудзи проводили сівалкою Baural 2.05.2024 р. Норма висіву насіння — 81,6 тис./га.

До появи сходів вносили гербіциди пропоніт (пропізахлор, 720 г/л) 2,5 л/га + віжн про (пропізахлор, 288 г/кг + мезотрон, 280 г/кг + амікарбазон, 720 г/л) 0,2 кг/га. У фазу 5 листків 27.05.2024 р. вносили кідека (мезотріон 100 г/л) 1,0 л/га + зеагран (бромексиніл, 100 г/л + тербутилазин, 250 г/л) 1,0 л/га + астрал (нікосульфурон 40 г/л) 1,0 л/га.

Площа дослідної ділянки — 148,4 м², облікової — 74,2 м², повторності — триразова. Розміщення ділянок — рендомізоване.

Мікологічну експертизу проводили із застосуванням методу ґрунтових розведень перед посівом культури [20].

Біометричні вимірювання проводили у фазу розвитку рослин кукурудзи ВВСН 55, обсяг вибірки 10 рослин з кожної ділянки досліду, а також оцінювали структуру врожаю.

Ступінь ураження рослин кукурудзи *Fusarium spp.* оцінювали у фазу розвитку ВВСН 97 за дев'ятибальною шкалою [21].

Збирання урожаю проводили комбайном Sampo-Rosenlev 27.09.2024 р.

Результати досліджень статистично обробляли із застосуванням дисперсійного аналізу, достовірність різниць між варіантами перевіряли методом Тьюкі із використанням програми Microsoft Excel 2019 та StatPlus від Analyst Soft Inc. Version v.7 (<https://www.analyst-soft.com/en/>).

Результати та обговорення

Стимулювальна дія бактеріальних інокулянтів спричинює утворення більшої та глибшої кореневої системи, яка може ефективніше поглинати воду й поживні речовини, внаслідок чого рослина стійкіша до посухи та дефіциту поживних речовин, що підвищує урожайність кукурудзи на зерно. Пошук нових штамів дає змогу вибрати ефективні мікробні агенти для комерційних інокулянтів [22, 23].

Бактеріальні інокулянти біотринсик і30 (*Bacillus simplex*), біофунгіцид біотринсик Х11 (*Kosakonia cowanii* SYM00028) зареєстровані для обробки насіння кукурудзи у США, Бразилії, Аргентині, Європі. Бактерії виділяють ензими, які стимулюють розвиток кореневої системи впродовж вегетації культури, що забезпечує поглинання води та поживних речовин із нижчих горизонтів ґрунту, особливо в період недостатнього зволоження [22, 23].

Взаємозв'язок впливу окремих чинників на формування продуктивності демонструють біометричні показники сільськогосподарської культури. Вони показують, який вплив чинить використання певних речовин або системи живлення та слугують критерієм оцінки застосування того чи іншого препарату або його вдосконалення [24–26].

Встановлено істотну стимуляцію розвитку кореневої системи рослин кукурудзи за застосування препаратів біотринсик. У фазу ВВСН 55 за використання біотринсик Х11 ПС довжина коренів кукурудзи збільшилась на 5 %, за комбінованої обробки насіння біотринсик Х11 ПС + біотринсик і30 вона становила 25,5 см, а за поєднання цих інокулянтів із максим ХЛ — досягала 26,4 см, що на 10 % перевищило контроль. Найвища маса кореня відзначена у варіанті, де насіння обробляли трьома препаратами (табл. 1).

Найбільшій висоті рослини кукурудзи досягали за поєднання обробки насіння кукурудзи протруйником максим ХЛ та бактеріальними препаратами — 241 см, що на 11 % перевищує контроль. Обробки насіння біотринсик Х11 та максим ХЛ показали однаковий вплив на висоту рослин кукурудзи — 223–226 см, що перевищило контроль на 3–4 %. Поєднання бактеріальних препаратів біотринсик із максим ХЛ забезпечило перевагу в 7–8 %.

Відповідним чином бактеріальні препарати впливали на масу рослин кукурудзи. За обробки біотринсик Х11 середня маса рослин становила 678 г, максим ХЛ — 660 г, що на 14–17 % перевищило масу рослин на контролі. Обробка біотринсик і30 + біотринсик Х11 істотно збільшила масу рослин порівняно з необробленим контролем. За цим показником даний варіант незначно поступався комбінованій обробці протруйником максим ХЛ та бактеріальними інокулянтами.

Біотринсик Х11 за стимулювальним ефектом на ріст рослин і розвиток кореневої системи переважав або, за окремими біометричними показниками, був на рівні протруйника максим ХЛ. Поєднання біотринсик Х11 та біотринсик і30 посилювало стимулювальну дію на ріст і розвиток кореневої системи та наростання біомаси кукурудзи. Вплив бактеріальних інокулянтів спостерігався і за поєднання їх із протруйником максим ХЛ. Визначення впливу бактеріальних інокулянтів на поширення *Fusarium spp.* перед збиранням кукурудзи по-

Таблиця 1. Вплив бактеріальних інокулянтів на ріст і розвиток рослини кукурудзи на зерно

Варіант	Висота рослини, см	Маса рослини, г	Довжина кореня, см	Маса кореня, г	Поширеність хвороб, %	Розвиток хвороб, %	Середній бал ураження	Маса 1000 зерн, г
Контроль	218±3 ^e	575±14 ^d	23,9±0,7 ^b	50,4±2,6 ^d	43±5	32,6±2,8 ^a	2,9±0,3 ^a	270±8,6
Біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т	226±2 ^{cd}	678±24 ^{bc}	25±0,6 ^{ab}	56,1±1,7 ^d	27±5	23,1±1,7 ^{bc}	2,1±0,2 ^{bc}	286,3±5,2
Біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т + біотринсик і30 0,36 кг/т	233±2 ^{bc}	723±7 ^{ab}	25,5±0,8 ^{ab}	65,4±2,5 ^e	23±15	18,1±2,2 ^{bc}	1,6±0,2 ^{bc}	287,8±5,4
Максим Х1. 1 л/т	223±2 ^{de}	660±27 ^c	24,7±0,7 ^b	67,0±1,3 ^{bc}	20±10	17,1±1,1 ^c	1,5±0,1 ^c	271,8±6,8
Максим Х1. 1 л/т + біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т	236±2 ^{ab}	708±11 ^{abc}	25,5±0,3 ^{ab}	73,6±2,4 ^{ab}	23±5	23,7±3,4 ^b	2,1±0,3 ^b	283,6±8,1
Максим Х1. 1 л/т + біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т + біотринсик і30 0,36 кг/т	241±3 ^a	760±28 ^a	26,4±0,4 ^a	80,4±2,7 ^a	23±5	22,2±2,8 ^{bc}	2,0±0,3 ^{bc}	281,2±13,4
Тест Тьюкі за рівня значущості $p < 0,05$ (% середньої різниці)	7 (3 %)	64 (10 %)	1,7 (7 %)	7,3 (12 %)	24 (92 %)	6,2 (27 %)	0,6 (28 %)	26,2 (10 %)

Примітка. Тут і в табл. 3 однаковими літерами позначено варіанти без статистично значущих відмінностей (критерій Тьюкі, $p < 0,05$).

казало, що на необроблюваному контролі середній бал ураження становив 2,9, за обробки максим Х1 — 1,5, за обробки біотринсик Х11 в поєднанні з біотринсик і30 — 1,6. За умов, що склались на дослідному полі цей чинник не мав істотного впливу на ріст і розвиток рослин кукурудзи та її урожайність.

Відсутність істотного ефекту від обробки насіння максим Х1 порівняно з контролем можна пояснити відносно низьким грибним фоном, який сформувався на дослідній ділянці (табл. 2), а також умовами зволоження впродовж вегетаційного періоду.

Погодні умови значною мірою впливають на масу 1000 зерен, яка є важливим елементом структури врожаю зернових культур [27–29]. Підвищені температури у період цвітіння та під час наливання зерна негативно вплинули на масу 1000 насінин. Водночас обробка насіння кукурудзи бактеріальними інокулянтами пом'яксувала цей ефект. Так, середня маса 1000 зерен кукурудзи за обробки біотринсик Х11 становила 286 г, що на 6 % перевищило контрольний варіант. Найвища маса 1000 зерен одержана за комбінованої обробки бактеріальними інокулянтами — 287 г. Стимулювальний ефект відзначено і за поєднання обробки насіння кукурудзи протруйником максим Х1 з біотринсик 11 та максим Х1 з біотринсик Х11 та біотринсик і30.

Обробка насіння біотринсик Х11 забезпечила іс-

ТАБЛИЦЯ 2. Результати мікологічного дослідження ґрунту перед посівом кукурудзи (попередник — кукурудза на зерно)

Показник	Кількість колонієутворювальних одиниць (КУО), од./г ґрунту
Загальна кількість КУО	26,1±3,3
Включно:	
<i>Trichoderma</i> spp.	6,0±0,6
<i>Fusarium</i> spp.	1,4±0,6
<i>Penicillium</i> spp.	15,5±2,1
<i>Gliocladium</i> spp.	3,2±1,9
<i>Cladosporium</i> spp.	0

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив бактеріальних інокулянтів на урожайність кукурудзи на зерно

Варіант	Урожайність, т/га
Контроль	7,22±0,1 ^{bc}
Біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т	7,59±0,3 ^{ab}
Біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т + біотринсик і30 0,36 кг/т	7,65±0,3 ^a
Максим ХЛ 1 л/т	7,13±0,1 ^c
Максим ХЛ 1 л/т + біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т	7,33±0,1 ^{abc}
Максим ХЛ 1 л/т + біотринсик Х11 ПС 0,36 кг/т + біотринсик і30 0,36 кг/т	7,36±0,1 ^{abc}
Критерій Тьюкі за рівня значущості $p < 0,05$ (% середньої різниці)	0,43 (6 %)

тотний приріст урожайності порівняно з контролем — 0,37 т/га. Урожайність кукурудзи у варіанті із максимумом ХЛ наближалась до контролю, але була істотно нижчою, ніж за обробки біотринсиком Х11. Відзначено прибавку урожайності зерна кукурудзи за комплексної обробки насіння максимумом ХЛ 1 л/т + біотринсиком Х11 ПС + біотринсиком і30 порівняно з максимумом ХЛ. Поєднання обробки біотринсиком Х11 із біотринсиком і30 забезпечило найвищу стимулювальну дію на рослини кукурудзи. У цьому варіанті отримано найвищу урожайність та істотну прибавку порівняно з контролем — 0,43 т/га.

Отримані результати дають підстави стверджувати, що обробка насіння кукурудзи бактеріальними препаратами чинить стимулювальну дію на ріст та розвиток рослин кукурудзи, знижує негативний вплив екологічних стресів упродовж онтогенезу та зменшує ризик втрати врожаю.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Erenstein O., Jaleta M., Sonder K., Mottaleb K., Prasanna B.M. Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Secur.* 2022. 14. P. 1295—1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
2. Rethinking Land in the Anthropocene: From Separation to Integration. Advisory Council on Global Change (WBGU), 2020. Berlin. Retrieved from: www.wbgu.de/en/publications/publication/landshift

3. Grote U., Fasse A., Nguyen T., Erenstein O. Food Security and the Dynamics of Wheat and Maize Value Chains in Africa and Asia. *Front. in Sustain. Food Sys.* 2021. 4. 617009. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>
4. Willett W., Rockström J., Loken B., Springmann M., Lang T., Vermeulen S., Garnett T., Tilman D., DeClerck F., Wood A., Jonell M., Clark M., Gordon L.J., Fanzo J., Hawkes C., Zurayk R., Rivera J.A., De Vries W., Majele Sibanda L., Murray C.J.L. Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet.* 2019. 393. P. 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
5. Kubitzka C., Krishna V.V., Schulthess U., Jain M. Estimating adoption and impacts of agricultural management practices in developing countries using satellite data. A scoping review. *Agron. Sustain. Dev.* 2020. 40.16. P. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0610-2>
6. Andorf C., Beavis W.D., Hufford M., Smith S., Suza W.P., Wang K., Woodhouse M., Yu J., Lübberstedt T. Technological advances in maize breeding: past, present and future. *Theor. Appl. Genet.* 2019. 132. P. 817–849. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03306-3>
7. Prasanna B.M., Cairns J.E., Zaidi P.H., Beyene Y., Makumbi D., Gowda M., Magorokosho C., Zaman-Allah M., Olsen M., Das A., Worku M., Gethi J., Vivek B.S., Nair S. K., Rashid Z., Vinayan M. T., Issa A.B., San Vicente F., Dhillwayo T., Zhang X. Beat the stress: Breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. *Theor. Appl. Genet.* 2021. 134. P. 1729–1752. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03773-7>
8. Raza A., Razzaq A., Mehmood S.S., Zou X., Zhang, X., Lv, Y., Xu, J. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. *Plants.* 2019. 8 (2). 4. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
9. Черчель В.Ю., Дзюбецький Б.В., Кондратенко П.В., Дудка М.І. Програма вирощування кукурудзи в Україні в умовах зміни клімату. Дніпро: ДУ ІЗК НААН. 2021. 44 с.
10. Русан В.М., Жураковська Л.А., Жаліло Я.А. (ред.), Вожегова Р.А., Данчук О.В., Грановська Л.М. Перспективи розвитку аграрного сектора України в умовах кліматичних змін. аналіт. доп. Київ. НІСД. 2024. 47 с.
11. State Statistics Service of Ukraine. September 25, 2024. Retrieved from: www.ukrstat.gov.ua
12. Baltazar M., Correia S., Guinan K.J., Sujeeth N., Braganca R., Goncalves B. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules.* 2021. 11 (8). 1096. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>
13. Naveed M., Mitter B., Yousaf S., Pastar M. 2014. The endophyte *Enterobacter* sp. FD17: a maize growth enhancer selected based on rigorous testing of plant beneficial traits and colonization characteristics. *Biol Fertil Soils.* 50. P. 249–262. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0854-y>
14. Mpanga I.K., Nkebiwe P.M., Kuhlmann M., Cozzolino V., Piccolo A., Geistlinger J., Berger N., Ludewig U., Neumann G. The Form of N Supply Determines Plant Growth Promotion by P-Solubilizing Microorganisms in Maize. *Microorganisms.* 2019. 7 (2) 38. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7020038>
15. Yakhin O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin I.A., Brown P.H. Biostimulants in plant science: A global perspective. *Front. Plant Sci.* 2017. 7. 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
16. Du Jardin, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.* 2015. 196. P. 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
17. Patani A., Patel M., Islam S., Yadav V.K. Recent advances in *Bacillus*-mediated plant growth enhancement: a paradigm shift in redefining crop resilience. *World J. Microbiol Biotechnol.* 2024. 40. 77. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-03903-5>
18. Gazoulis I., Kanatas P., Antonopoulos N., Kokkini M., Tsekoura A., Demirtzoglou T., Travlos I. The integrated effects of biostimulant application, mechanical weed control, and herbicide application on weed growth and maize (*Zea mays* L.) yield. *Agronomy.* 2023. 13 (10). 2614. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102614>
19. Lephatsi M., Nephali L., Meyer V., Piater L.A., Buthelezi N., Dubery I.A., Opperman H., Brand M., Huyser J., Tugizimana F. Molecular mechanisms associated with micro-

- bial biostimulant-mediated growth enhancement, priming and drought stress tolerance in maize plants. *Sci Rep.* 2022. 12. 10450. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14570-7>
20. Методы экспериментальной микологии. В.И. Билай (ред.). Киев: Наукова думка. 1982. 552 с.
21. Сігарьова С.С., Секун М.П., Івашенко О.О. Трибель С.О. (ред.). Методика випробування і застосування пестицидів. Київ: Світ. 2001. 448 с.
22. Nascimento R.D., Cavalcanti M.I.P., Correia A.D., Escobar I.E.C., de Freitas D.S., Nobrega R.S.A., Fernabdes Junior P.I. Maize-associated bacteria from the Brazilian semiarid region boost plant growth and grain yield. *Symbiosis.* 2021. 83. P. 347–359. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00755-7>
23. Efthimiadou A., Katsenios N., Chanioti S., Giannoglou M., Djordjevic N., Katsaros G. Effect of foliar and soil application of plant growth promoting bacteria on growth, physiology, yield and seed quality of maize under Mediterranean conditions. *Sci. Rep.* 2020. 10. 21060. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78034-6>
24. Katsenios N., Andreou V., Sparangis P., Djordjevic N., Giannoglou M., Chanioti S., Kasimatis C.N., Kakabouki I., Leonidakis D., Danalatos N., Katsaros G., Efthimiadou A. Assessment of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of sweet corn. *Sci Rep.* 2022. 12. 11598. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16044->
25. Швартау В., Михальська Л., Маковейчук Т. Вміст мікроелементів в рослинах озимої пшениці за дії ретардантів. *Фізіологія рослин і генетика.* 2018. 48, № 6. С. 474–483.
26. Михальська Л.М., Маковейчук Т.І., Третьяков В.О., Швартау В.В. Вплив сульфату амонію на ретардантну активність тринексапакетилу на пшениці. *Фізіологія рослин і генетика.* 2023. 55, № 4. С. 355–367. <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.355>
27. Kasim W.A., Osman M.E., Omar M.N., Abd El-Daim I.A., Bejai S., Meijer J. Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Plant Growth Regul.* 2013. 32 (1). P. 122–130. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9283-7>
28. Моргун В.В., Швартау В.В., Киризий Д.А. Физиологические основы формирования высокой продуктивности зерновых злаков. *Физиология и биохимия культ. растений.* 2010. 42, № 5. С. 371–392.
29. Abendroth L.J., Elmore R.W., Boyer M.J., Marlay S.K. Corn growth and development. PMR.1009. Iowa State University Extension Service, Ames, Iowa, 2011. 49 p.

Отримано 25.11.2024

REFERENCES

1. Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. & Prasanna, B.M. (2022). Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Secur.*, 14., pp. 1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
2. Rethinking Land in the Anthropocene: From Separation to Integration. (2020). Advisory Council on Global Change (WBGU), Berlin. Retrieved from: www.wbgu.de/en/publications/publication/landshift
3. Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T. & Erenstein, O. (2021). Food Security and the Dynamics of Wheat and Maize Value Chains in Africa and Asia. *Front. Sustain. Food Sys.*, 4, 617009. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.617009>
4. Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., De Vries, W., Majele Sibanda, L. & Murray, C.J.L. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393, pp. 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
5. Kubitzka, C., Krishna, V.V., Schulthess, U. & Jain, M. (2020). Estimating adoption and impacts of agricultural management practices in developing countries using satellite data. A scoping review. *Agron. Sustain. Dev.*, 40.16, pp. 1-21. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0610-2>
6. Andorf, C., Beavis, W.D., Hufford, M., Smith, S., Suza, W.P., Wang, K., Woodhouse, M., Yu, J. & Lübberstedt, T. (2019). Technological advances in maize breeding: past,

- present and future. *Theor. Appl. Genet.*, 132, pp. 817-849. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03306-3>
7. Prasanna, B.M., Cairns, J.E., Zaidi, P.H., Beyene, Y., Makumbi, D., Gowda, M., Magorokosho, C., Zaman-Allah, M., Olsen, M., Das, A., Worku, M., Gethi, J., Vivek, B.S., Nair, S.K., Rashid, Z., Vinayan, M.T., Issa, A.B., San Vicente, F., Dhliwayo, T. & Zhang, X. (2021). Beat the stress: Breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. *Theor. Appl. Genet.*, 134, pp. 1729-1752. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03773-7>
 8. Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y. & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. *Plants*, 8 (2), 4. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
 9. Cherchel, V.Yu., Dziubetskyi, B.V., Kondratenko, P.V., Kyrpa, M.Ya., Hyrka, A.D. & Dudka, M.I. (2021). Maize program in Ukraine under climate change. Dnipro: SE IGC NAAS. 44 p. [in Ukrainian].
 10. Rusan, V.M., Zhurakovska, L.A., Zhalilo, Ya.A., Vozhegova, R.A., Danchuk, O.V. & Granovska, L.M. (2024). Prospects for the development of the agricultural sector of Ukraine in the conditions of climate change. Kyiv. NISD. 2024. 47 p. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09>
 11. State Statistics Service of Ukraine. (2024). September 25, 2024. Retrieved from: www.ukrstat.gov.ua
 12. Baltazar, M., Correia, S., Guinan, K.J., Sujeeth, N., Braganca, R. & Goncalves, B. (2021). Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. *Biomolecules*, 11 (8), 1096. <https://doi.org/10.3390/biom11081096>
 13. Naveed, M., Mitter, B., Yousaf, S. & Pastar, M. (2014). The endophyte *Enterobacter* sp. FD17: a maize growth enhancer selected based on rigorous testing of plant beneficial traits and colonization characteristics. *Biol Fertil. Soils.*, 50, pp. 249-262. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0854-y>
 14. Mpanga, I.K., Nkebiwe, P.M., Kuhlmann, M., Cozzolino, V., Piccolo, A., Geistlinger, J., Berger, N., Ludewig, U. & Neumann, G. (2019). The form of N supply determines plant growth promotion by P-solubilizing microorganisms in maize. *Microorganisms*. 7 (2), 38. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7020038>
 15. Yakhin, O.I., Lubyantov, A.A., Yakhin, I.A. & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Front. Plant Sci.*, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
 16. Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Hortic.*, 196, pp. 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
 17. Patani, A., Patel, M., Islam, S. & Yadav, V.K. (2024). Recent advances in *Bacillus*-mediated plant growth enhancement: a paradigm shift in redefining crop resilience. *World J Microbiol Biotechnol.*, 40, 77. <https://doi.org/10.1007/s11274-024-03903-5>
 18. Gazoulis, I., Kanatas, P., Antonopoulos, N., Kokkini, M., Tsekoura, A., Demirtzoglou, T. & Travlos, I. (2023). The integrated effects of biostimulant application, mechanical weed control, and herbicide application on weed growth and maize (*Zea mays* L.) yield. *Agronomy*, 13,(10), 2614. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102614>
 19. Lephatsi, M., Nepthali, L., Meyer, V., Piater, L.A., Buthelezi, N., Dubery, I.A., Opperman, H., Brand, M., Huyser, J. & Tugizimana, F. (2022). Molecular mechanisms associated with microbial biostimulant-mediated growth enhancement, priming and drought stress tolerance in maize plants. *Sci Rep.*, 12, 10450. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14570-7>
 20. Methods of experimental mycology. V.I. Bilay (ed.). (1982). K.: Naukova Dumka [in Russian].
 21. Sigarova, S.S., Sekun, M.P., Ivashchenko, O.O. Tribel, S.O. (ed.). (2001). Methodology for testing and drying of pesticides. Kiev: Svit [in Ukrainian].
 22. Nascimento, R.D, Cavalcanti, M.I.P, Correia, A.D, Escobar, I.E.C, de Freitas, D.S., Nobrega, R.S.A. & Fernabdes Junior, P.I. (2023). Maize-associated bacteria from the Brazilian semiarid region boost plant growth and grain yield. *Symbiosis*, 2021. 83, pp. 347-359. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00755-7>
 23. Eftimiadou, A., Katsenios, N., Chanioti, S., Giannoglou, M., Djordjevic, N. & Katsaros, G. (2020). Effect of foliar and soil application of plant growth promoting bac-

- teria on growth, physiology, yield and seed quality of maize under Mediterranean conditions. *Sci. Rep.*, 10, 21060. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78034-6>
24. Katsenios, N., Andreou, V., Sparangis, P., Djordjevic, N., Giannoglou, M., Chanioti, S., Kasimatis, C.N., Kakabouki, I., Leonidakis, D., Danalatos, N., Katsaros, G. & Efthimiadou, A. (2022). Assessment of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of sweet corn. *Sci Rep.*, 12, 11598. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16044-2>
 25. Schwartau, V., Mykhalska, L. & Makoveychuk, T. (2018). Microelement content in winter wheat plants under the action of retardants. *Fiziol. rast. genet.*, 48, No. 6, pp. 474-483 [in Ukrainian].
 26. Mykhalska, L.M., Makoveychuk, T.I., Tretiakov, V.O. & Schwartau, V.V. (2023). The influence of sulfate ammonium on the retardant activity of trinexapac-ethyl on wheat. *Fiziol. rast. genet.*, 55, No. 4, pp. 355-367 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.355>
 27. Kasim, W.A, Osman, M.E, Omar, M.N, El-Daim, A., Islam, A., Bejai, S. & Meijer, J. (2013). Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. *Plant Growth Regul.*, 32 (1), pp. 122-130. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9283-7>
 28. Morgun, V.V., Schwartau, V.V. & Kiriziy, D.A. (2010). Physiological bases of formation of high productivity of grain cereals. *Fyziolohiya i byokhymiya kult. rastenyi*, 42, No. 5, pp. 371-392 [in Russian].
 29. Abendroth, L.J., Elmore, R.W., Boyer, M.J. & Marlay, S.K. (2011). Corn growth and development. PMR.1009. Iowa State University Extension Service, Ames, Iowa, 49 p.

Received 25.11.2024

THE INFLUENCE OF BACTERIAL INOCULANTS ON GRAIN MAIZE PRODUCTIVITY

V. Zadorozhnyi¹, O. Chernelivska¹, Ye. Sanin²

¹Institute of Feed Research and Agriculture of Podillia, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
16 Yunosty Ave., Vinnytsia, 21100, Ukraine
e-mail: v.zadorozhnyi@ukr.net

²Indigo Agriculture Ukraine
13 Hlybochyska St., building 1, office 1, Kyiv, 04050, Ukraine
e-mail: esanin@indigoag.com

The stimulating effect of bacterial inoculants increases the weight and length of the root system of plants, which leads to effective absorption of water and nutrients from the lower layers of soil and increases the yield. Biological fungicides based on bacteria provide protection against the main pathogens of seedlings and plants during the growing season of agricultural crops. The effect of bacterial inoculants Biotrinsic i30 (*Bacillus simplex*) and biological fungicide-growth promotor Biotrinsic X11 (*Kosakonia cowanii* SYM00028) on the growth and development of maize plants was investigated. It was shown that treatment of maize seeds with Biotrinsic X11 stimulates the growth and development of the root system compared to the control. The weight of the roots increases by 12–30 %. The plants treated with biostimulants were 15–23 cm higher than those on the control. Biotrinsic X11 seed treatment provided a significant grain yield increase compared to the control — by 0.37 t/ha. An increase in the grain maize productivity was observed under complex seed treatment with Maxim XL 1 L/t + Biotrinsic X11 0.36 kg/t + Biotrinsic i30 0.36 kg/t compared with Maxim XL only. The combination of Biotrinsic X11 treatment with Biotrinsic i30 provided the highest stimulating effect on maize plants. In this variant, the highest yield and a significant increase compared to the control was obtained — 0.43 t/ha. The obtained results give reasons to claim that the treatment of maize seeds with bacterial preparations has a stimulating effect on the regulation of growth and development of maize plants, reduces the negative impact of environmental stresses in ontogenesis and the risk of crop loss. Thus, bioinoc-

ulants and biological fungicides are becoming an integral element of modern technologies for growing maize.

Key words: *Zea mais* L., bacterial inoculants, biological fungicides, Biotrinsik i30 PS, Biotrinsik X11 PS.

ORCID

В.С. ЗАДОРЖНИЙ — V. Zadorozhnyi <https://orcid.org/0000-0003-3842-0636>

О.О. ЧЕРНЕЛІВСЬКА — O. Chernelivska <https://orcid.org/0000-0002-8637-0840>

Є.В. САНІН — Ye. Sanin <https://orcid.org/0009-0004-8532-0405>