

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ОЦІНКИ ВИРОЩУВАННЯ ГОРОХУ ЗА РІЗНИХ СХЕМ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ТА ПОПЕРЕДНИКІВ

ГУДЗЕНКО О. Г. – аспірант
orcid.org/0009-0002-2742-6995

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ІЖБОЛДІН О. О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-8076-7206
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Горох (*Pisum sativum* L.) є базовою зернобобовою культурою, що одночасно забезпечує білкову продукцію та покращує азотний баланс сівозмін завдяки симбіозу з *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* [1, 2]. Проте реалізація цього потенціалу в умовах України стримується поєднанням впливом на початкових стадіях росту і розвитку рослин гороху ґрунтових та насінневих інфекцій (*Ascochyta*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*), абіотичних стресів (дефіцит вологи, холодні ґрунти на початку вегетації), а також нестабільністю нодуляції [6, 13]. Саме тому технологічні рішення на етапі передпосівної обробки насіння – фунгіцидний протруйник та інокуляція – мають визначальний ефект на продуктивність і економіку вирощування, але потребують науково обґрунтованої сумісності та локальної адаптації до зони Степу України [8].

У виробничій практиці господарств в степовій зоні України інокуляція сучасними штамами *R. leguminosarum* стабільно підвищує економічну та енергетичну ефективність технології вирощування гороху, водночас ефект модифікується сортом, попередником і фітосанітарним фоном поля [5, 15]. Узагальнені дані свідчать, що саме вибір і спосіб застосування насінневого фунгіциду визначають, чи буде збережено життєздатність ризобій на насінні та ранню нодуляцію, що формує технологічну дилему захист або симбіоз [3, 4, 14]. Тому потрібні стандартизовані, локально перевірені комбінації протруйник – інокулянт – спосіб нанесення – попередник і їхня оцінка не лише за врожайністю, а й за економічними та біоенергетичними показниками, адаптованими до ресурсних і кліматичних обмежень степової зони України [9, 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняні польові дослідження послідовно фіксують, що продуктивність гороху істотно залежить від фітосанітарної ситуації та попередника. Вчені відмічають домінування ураження кореневими гнилями й аскохітозом, що потребує акценту на стартовому захисті насіння та зонально адаптованих рішень [6, 13]. На цьому фоні інокуляція штамами *R. leguminosarum* у вітчизняних умовах демонструє стабільні агрономічні й економіко-енергетичні переваги (зростання коефіцієнта енергетичної ефективності, зниження собівартості продукції) [5, 15].

Питання сумісності інокулянт та насінневий фунгіцид підтверджено експериментально: дитиокарбамати (зокрема тірам) і каптан знижують виживаність ризобій та пригнічують ранню нодуляцію [3], тоді як за коректної технології (розділення в часі, альтернативні носії,

перенесення інокуляції в насіннєве ложе) можливі нейтральні або навіть позитивні результати поєднань у польових умовах [4, 14]. Щодо носіїв і способів внесення, огляди літератури з високою цитованістю рекомендують зосередження на якості інокулянтів, виборі носія (торф'яний, рідкий, полімерний), мінімізації інтервалу між інокуляцією та заготанням, а також розгляд внесення в рядок як альтернативи на поверхні насіння за ризику токсичної взаємодії з протруйниками [2].

Матеріали та методика досліджень. Польові дослідження з горохом посівним (сорт Мадонна) виконували у 2023–2025 рр. на чорноземі звичайному малоґумусовому середньосуглинковому. Схема двофакторна досліді включала: фактор А – попередник (пшениця озима; соняшник), фактор В – передпосівна обробка насіння (контроль; Вайбранс РФС 1,0 л/т; Редіго 1,0 л/т; Сферіко 1,0 л/т; Авідо 1,0 л/т; Ризолайн 3,0 л/т + Ризосейв 1,0 л/т; Атува 2,0 л/т + Премакс 0,5 л/т; та їхні комбінації). Урожайність зерна перераховували на 14 % вологість [10].

Для інтегральної оцінки технологій застосовували біоенергетичний аналіз (сукупні енерговитрати, енергоємність 1 т, коефіцієнт енергетичної ефективності (K_{ee})) у поєднанні з економічними показниками, які визначали за загальноприйнятими методиками [9, 12].

Результати досліджень. В результаті проведених польових досліджень в середньому за 2023–2025 рр. при врожайності на рівні 2,53–2,90 т/га та сумарних енерговитратах 16,40–16,83 ГДж/га встановлено чітку перевагу схем із інокуляцією над хімічними протруйниками, а максимальне значення зафіксовано для комбінацій інокулянт + фунгіцид. Найвищу енергетичну віддачу забезпечила комбінація Ризолайн + Ризосейв + Вайбранс РФС при цьому енергоємність 1 т становила 5803 МДж. Інокуляція без фунгіциду препаратами Ризолайн + Ризосейв забезпечувала достатньо високий показник коефіцієнту енергетичної ефективності на рівні 2,54. Застосування лише фунгіцидів забезпечувало помірніший ефект в межах 1,92–1,95 і вищу енергоємність 1 т порівняно зі схемами з інокуляцією. Збільшення витраченої сукупної енергії у кращих комбінаціях зумовлене додатковими витратами на насіннєву обробку та частково на збирання й логістику за більшої урожайності, однак це повністю компенсується приростом валової енергії врожаю зерна (табл. 1).

Після попередника соняшника абсолютні показники були нижчими, що відобразилося у значеннях коефіцієнту енергетичної ефективності – 2,10–2,41. Як і після

Таблиця 1

Біоенергетична ефективність вирощування зерна гороху залежно від варіантів передпосівної обробки насіння та їх комбінацій після попередника пшениця озима (середнє за 2023–2025 рр.)

Варіанти дослідів	Урожайність, т/га	Витрати сукупної енергії, ГДж/га	Одержано валової енергії в зерні, ГДж/га	Енергоємність 1 т зерна, МДж	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Без обробки	2,53	16,40	38,10	6482	2,32
Вайбранс РФС (1 л/т)	2,68	16,56	40,36	6179	2,44
Редіго (1 л/т)	2,66	16,54	40,06	6218	2,42
Сферіко (1 л/т)	2,65	16,53	39,91	6238	2,41
Авідо (1 л/т)	2,63	16,51	39,61	6278	2,40
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т)	2,82	16,74	42,47	5936	2,54
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т	2,73	16,63	41,11	6092	2,47
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,90	16,83	43,67	5803	2,59
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,88	16,82	43,37	5840	2,58
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Сферіко (1 л/т)	2,89	16,82	43,52	5820	2,59
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,87	16,81	43,22	5857	2,57
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,85	16,76	42,92	5881	2,56
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,84	16,75	42,77	5898	2,55
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т + Сферіко 1 л/т	2,83	16,74	42,62	5915	2,55
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,81	16,73	42,32	5954	2,53

Таблиця 2

Біоенергетична ефективність вирощування зерна гороху залежно від варіантів передпосівної обробки насіння та їх комбінацій після попередника соняшника (середнє за 2023–2025 рр.)

Варіанти дослідів	Урожайність, т/га	Витрати сукупної енергії, ГДж/га	Одержано валової енергії в насінні, ГДж/га	Енергоємність 1 т зерна, МДж	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Без обробки	2,28	16,32	34,34	7158	2,10
Вайбранс РФС (1 л/т)	2,44	16,49	36,75	6758	2,23
Редіго (1 л/т)	2,42	16,47	36,45	6806	2,21
Сферіко (1 л/т)	2,40	16,45	36,14	6854	2,20
Авідо (1 л/т)	2,39	16,44	35,99	6879	2,19
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т)	2,58	16,67	38,85	6461	2,33
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т	2,48	16,55	37,35	6673	2,26
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,68	16,78	40,36	6261	2,41
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,68	16,78	40,36	6261	2,41
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Сферіко (1 л/т)	2,67	16,78	40,21	6285	2,40
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,66	16,77	40,06	6305	2,39
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,63	16,71	39,61	6354	2,37
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,61	16,70	39,31	6398	2,35
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т + Сферіко 1 л/т	2,60	16,68	39,16	6415	2,35
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,59	16,67	39,01	6436	2,34

попередника пшениці озимої, найкращі результати забезпечили поєднання інокуляції з протруюванням: Ризолайн + Ризосейв + Вайбранс РФС при цьому коефіцієнт енергетичної ефективності був на рівні 1,92. Відносно контролю приріст урожайності становив 0,40 т/га, К_е зростав на 0,31, а енергоємність 1 т знижувалася на 12,5 %. Інокуляція без фунгіциду знову демонструвала майже рівнозначний рівень із кращими комбінаціями. Загалом показники біоенергетичної ефективності вирощування гороху на зерно після соняшнику дещо нижчий, ніж після пшениці озимої на 0,04–0,08 ГДж/га у межах відповідних варіантів, що логічно корелює з нижчою урожайністю і відповідно меншими енерговитратами на збирання та післязбиральні операції (табл. 2).

При розрахунках економічної ефективності за фіксованої ціни реалізації валова продукції змінювалася від 27,83 тис. грн/га до 31,90 тис. грн/га у найкращих комбінаціях. Максимальні значення умовно чистого прибутку отримано для Ризолайн + Ризосейв + Сферіко, які становили 12,17 тис. грн/га при рівні рентабельності 62,1 % та Ризолайн + Ризосейв + Вайбранс РФС – 12,09 тис. грн/га та рентабельності 61,1 %. Інокуляція без фунгіциду забезпечила отримання чистого прибутку на рівні 11,68 тис. грн/га, тобто була практично за цим показником не менше комбінованого застосування препаратів. Застосування лише фунгіцидів забезпечило нижчий економічний ефект при цьому прибуток становив 9,87–10,20 тис. грн/га при рентабельності виробництва 51,8–52,9 % внаслідок меншого приросту урожайності за рівних виробничих витрат (табл. 3).

На фоні нижчої урожайності фінансові показники зменшувалися, однак зберігалася аналогічна тенденція, а саме найвищі прибуток та рентабельність виробництва спостерігалися у комбінаціях із інокуляцією. Найкращі варіанти комбінованого застосування препаратів були поєднання Ризолайн + Ризосейв + Сферіко і становили прибуток 9,76 тис. грн/га та рентабельність 49,7 %, а також Ризолайн + Ризосейв + Редіго – 9,75 тис. грн/га та рентабельність 49,4 %; Ризолайн + Ризосейв + Вайбранс РФС – 9,674 тис. грн/га та 48,8 %, відповідно. Відносно контролю де чистий прибуток становив 6,27 тис. грн/га при рентабельності 33,3 % додатковий прибуток становив 3,4–3,5 тис. грн/га (табл. 4). Схеми застосування препаратів Атува + Премакс у поєднанні з фунгіцидами демонстрували стабільний, але нижчий економічний результат через вищі витрати на передпосівні обробки насіння гороху при практично рівній урожайності зерна.

Висновки. Встановлено важливу роль попередника як системного чинника формування продуктивності та біоенергетики виробництва гороху. Після попередника пшениці озимої отримано вищі показники врожайності на рівні 2,53–2,90 т/га, нижчу енергоємність 1 т зерна – 5,80–6,48 ГДж/т і вищий коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,32–2,59, ніж після попередника соняшника, де за нижчої урожайності коефіцієнт енергетичної ефективності становив 2,10–2,41.

Інокуляція сучасними штамами є базовою ланкою технології. Інокуляція без фунгіциду (Ризолайн + Ризосейв) забезпечила зниження енергоємності

Таблиця 3

Економічна ефективність вирощування зерна гороху залежно від варіантів передпосівної обробки насіння та їх комбінацій після попередника пшениці озимої (середнє за 2023–2025 рр.)

Варіанти дослідів	Врожайність, т/га	Валова вартість продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Без обробки	2,53	27 830	18 812	9018	47,9
Вайбранс РФС (1 л/т)	2,68	29 480	19 277	10 203	52,9
Редіго (1 л/т)	2,66	29 260	19 200	10 060	52,4
Сферіко (1 л/т)	2,65	29 150	19 085	10 065	52,7
Авідо (1 л/т)	2,63	28 930	19 064	9866	51,8
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т)	2,82	31 020	19 341	11 679	60,4
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т	2,73	30 030	19 843	10 187	51,3
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,90	31 900	19 806	12 094	61,1
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,88	31 680	19 729	11 951	60,6
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Сферіко (1 л/т)	2,89	31 790	19 614	12 176	62,1
Ризолайн (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,87	31 570	19 593	11 977	61,1
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,85	31 350	20 308	11 042	54,4
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,84	31 240	20 231	11 009	54,4
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т + Сферіко 1 л/т	2,83	31 130	20 117	11 013	54,7
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,81	30 910	20 095	10 815	53,8

Таблиця 4

Економічна ефективність вирощування зерна гороху залежно від варіантів передпосівної обробки насіння та їх комбінацій після попередника соняшника (середнє за 2023–2025 рр.)

Варіанти дослідів	Врожайність, т/га	Валова вартість продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Умовно чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Без обробки	2,28	25080	18812	6268	33,3
Вайбранс РФС (1 л/т)	2,44	26840	19277	7563	39,2
Редіго (1 л/т)	2,42	26620	19200	7420	38,6
Сферіко (1 л/т)	2,40	26400	19085	7315	38,3
Авідо (1 л/т)	2,39	26290	19064	7226	37,9
Ризолан (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т)	2,58	28380	19341	9039	46,7
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т	2,48	27280	19843	7437	37,5
Ризолан (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,68	29480	19806	9674	48,8
Ризолан (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,68	29480	19729	9751	49,4
Ризолан (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Сферіко (1 л/т)	2,67	29370	19614	9756	49,7
Ризолан (3 л/т) + Ризосейв (1 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,66	29260	19593	9667	49,3
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Вайбранс РФС (1 л/т)	2,63	28930	20308	8622	42,5
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Редіго (1 л/т)	2,61	28710	20231	8479	41,9
Атува 2 л/т + Премакс 0,5 л/т + Сферіко 1 л/т	2,60	28600	20117	8483	42,2
Атува (2 л/т) + Премакс (0,5 л/т) + Авідо (1 л/т)	2,59	28490	20095	8395	41,8

1 т зерна до 5,94 ГДж/т (попередник пшениця озима) і 6,46 ГДж/т (попередник соняшник) та підвищила коефіцієнт енергетичної ефективності до 2,54 і 2,33, відповідно. За аналогічних ресурсних витрат схеми лише з фунгіцидними протруйниками поступалися за енергетичною віддачею: $K_{ee} = 2,40\text{--}2,44$ (після пшениці озимої) та 2,19–2,23 (після соняшнику), із більшою енергоємністю 6,18–6,28 і 6,76–6,88 ГДж/т, відповідно.

Максимальний сукупний ефект отримано в інтегрованих рішеннях застосування інокулянтів та фунгіцидів. Комбінації Ризолан + Ризосейв з Вайбранс РФС, Сферіко або Редіго забезпечили найвищий K_{ee} – 2,59 після попередника пшениці озимої і до 2,41 після соняшника. Мінімальна енергоємність 1 т становила 5,80–5,84 ГДж/т після пшениці озимої та 6,26–6,29 ГДж/т після соняшнику. Додаткові енерговитрати на передпосівні обробки та збирально-логістичний блок були незначними відносно приросту валової енергії врожаю.

Економічні показники повністю узгодилися з біоенергетичними. Найвищі прибуток і рентабельність зафіксовано для інтегрованих схем, а саме після попередника пшениці озимої до 12,18 тис. грн/га і 62 %, після соняшнику до 9,76 тис. грн/га і 50 %, відповідно.

Практично значущою альтернативою за обмежених ресурсів є інокуляція без фунгіциду, особливо після попередника соняшника. Базовою ж рекомендацією для виробництва слід вважати поєднання інокулянта з сумісним протруйником і переважне розміщення гороху після пшениці озимої.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Гадзало Я. М., Ібатуллін І. І., Лузан Ю. Я. Інституціональне забезпечення функціонування продовольчої системи України в сучасних кризових умовах. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 8. С. 5–15. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202208-01>
- Deaker R., Roughley R. J., Kennedy I. R. Legume seed inoculation technology – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2004. 36(8). P. 1275–1288. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.009>
- Dunfield K. E., Siciliano S. D., Germida J. J. The fungicides thiram and captan affect the phenotypic characteristics of *Rhizobium leguminosarum* strain C1 as determined by FAME and Biolog analyses. *Biology and Fertility of Soils*. 2000. 31(3). P. 303–309. <https://doi.org/10.1007/s003740050660>
- Kutcher H. R., Lafond G. P., Johnston A. M. Rhizobium inoculant and seed-applied fungicide effects on field pea production. *Canadian Journal of Plant Science*. 2002. 82(4). P. 645–651. <https://doi.org/10.4141/P01-180>
- Козар С. Ф., Халеп Ю. М., Євтушенко Т. А., Вороная О. В. Економічна та енергетична ефективність інокуляції гороху посівного новим штамом *Rhizobium leguminosarum* Г222. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2023. 38. С. 51–58. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.51-58>
- Лемішко С. М., Черних С. А., Пашова В. Т. Кореневі гнилі агрофітоценозів гороху в умовах Північного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. 121. С. 58–66. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.8>

7. Лемішко С. М. Оцінка впливу інкрустації та інокуляції насіння гороху на показники продуктивності. *Таврійський науковий вісник*. 2020. 116(1). С. 141–149. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.29>.
8. Іщенко В. А., Томашина Г. П., Темченко А. М. Резерв підвищення урожайності гороху в Степу. *Бюлетень Інституту сільськогосподарства степової зони НААН*. 2013. 18. С. 52–60.
9. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М., Глушенко Л. Д., Личук Г. І. *Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва*: Науково-методичне забезпечення. Київ : Аграрна наука. 2005. 145 с.
10. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: навч. посіб. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.
11. Мазур В. А., Липовий В. Г., Мордванюк М. О. *Методика наукових досліджень в агрономії: навчальний посібник*. Вінниця : ВЦ ТОВ «ТВОРИ», 2020. 204 с.
12. Тараріко Ю. О., Несмашна О. Ю., Бердніков О. М., та ін. Енергетичні аспекти сталого розвитку агросфери (огляд). *Вісник аграрної науки*. 2010. 4. С. 20–24.
13. Trenk N. K., Li S., Anderson N. Understanding the root of the problem for tackling pea root rot. *Frontiers in Microbiology*. 2024. 15. 1441814. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1441814>
14. Rathjen J. R., Ryder M. H., Lai T. V., Riley I. T., Brand J., Denton M. D. The impact of fungicides with contrasting toxicities to rhizobia on the growth and nodulation of pulses in southern Australia. *Crop & Pasture Science*. 2025. 76. CP24381. <https://doi.org/10.1071/CP24381>
15. Вуйко О. М. Вплив мікродобрив та біопрепаратів на формування продуктивності гороху в умовах Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2022. 10(2). С. 48–55. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.2>
- shtamom *Rhizobium leguminosarum* H222 [Economic and energy efficiency of pea inoculation with a new *Rhizobium leguminosarum* H222 strain]. *Silskohospodarska mikrobiologiya*, 38, 51–58. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.51-58> [in Ukrainian].
6. Lemishko, S. M., Chernykh, S. A., & Pashova, V. T. (2021). Korenevi hnili ahrofitotsenoziv horokhu v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Root rots of pea agrophytocenoses in the Northern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk*, 121, 58–66. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.8> [in Ukrainian].
7. Lemishko, S. M. (2020). Otsinka vplyvu inkrustatsii ta inokulatsii nasinnia horokhu na pokaznyky produktyvnosti [Assessment of the effect of seed incrustation and inoculation on pea productivity indicators]. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk*, 116(1), 141–149. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.29> [in Ukrainian].
8. Ishchenko, V. A., Tomashyna, H. P., & Temchenko, A. M. (2013). Rezerv pidvyshchennia urozhainosti horokhu v Stepu [Reserves for increasing pea yield in the Steppe]. *Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN*, 18, 52–60 [in Ukrainian].
9. Tarariko, Yu. O., Nesmashna, O. Yu., Berdnikov, O. M., Hlushchenko, L. D., & Lychuk, H. I. (2005). Bioenerhetychna otsinka silskohospodarskoho vyrobnytstva: Naukovo-metodychne zabezpechennia [Bioenergetic assessment of agricultural production: Scientific and methodological support]. Kyiv : *Ahrarna nauka* [in Ukrainian].
10. Ushkarenko, V. O., Nikishenko, V. L., Holoborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2008). Dyspersiyni i koreliatsiyni analiz u zemlerobstvi ta roslynnytstvi [Analysis of variance and correlation in agriculture and crop production]. Kherson : Ailant. 272 p. [in Ukrainian].
11. Mazur, V. A., Lypovy, V. H., & Mordvaniuk, M. O. (2020). Metodyka naukovykh doslidzhen v ahronomii [Methodology of scientific research in agronomy]. Vinnytsia: VTs TOV "TVORY". 204 p. [in Ukrainian].
12. Tarariko, Yu. O., Nesmashna, O. Yu., & Berdnikov, O. M. (2010). Enerhetychni aspekty staloho rozvytku ahrosfery (ohliad) [Energy aspects of sustainable development of the agrosphere (review)]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 4, 20–24. [in Ukrainian].
13. Trenk, N. K., Li, S., & Anderson, N. (2024). Understanding the root of the problem for tackling pea root rot. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1441814. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1441814>
14. Rathjen, J. R., Ryder, M. H., Lai, T. V., Riley, I. T., Brand, J., & Denton, M. D. (2025). The impact of fungicides with contrasting toxicities to rhizobia on the growth and nodulation of pulses in southern Australia. *Crop & Pasture Science*, 76, CP24381. <https://doi.org/10.1071/CP24381>
15. Vuyko, O. M. (2022). Vplyv mikrodobryv ta biopreparativ na formuvannia produktyvnosti horokhu v umovakh Lisostepu Ukrainy [Effect of micronutrients and bioproducts on pea productivity under the Forest-Steppe conditions of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*, 10(2), 48–55. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.2> [in Ukrainian].

REFERENCES:

1. Hadzalo, Ya. M., Ibatullin, I. I., & Luzan, Yu. Ya. (2022). Instytutsionalne zabezpechennia funktsionuvannia prodovolchoi systemy Ukrainy v suchasnykh kryzovykh umovakh [Institutional support for the functioning of Ukraine's food system under modern crisis conditions]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 8, 5–15. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202208-01> [in Ukrainian].
2. Deaker, R., Roughley, R. J., & Kennedy, I. R. (2004). Legume seed inoculation technology – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(8), 1275–1288. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.009>
3. Dunfield, K. E., Siciliano, S. D., & Germida, J. J. (2000). The fungicides thiram and captan affect the phenotypic characteristics of *Rhizobium leguminosarum* strain C1 as determined by FAME and Biolog analyses. *Biology and Fertility of Soils*, 31(3), 303–309. <https://doi.org/10.1007/s003740050660>
4. Kutcher, H. R., Lafond, G. P., & Johnston, A. M. (2002). *Rhizobium* inoculant and seed-applied fungicide effects on field pea production. *Canadian Journal of Plant Science*, 82(4), 645–651. <https://doi.org/10.4141/P01-180>
5. Kozar, S. F., Khalep, Yu. M., Yevtushenko, T. A., & Voronaia, O. V. (2023). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist inokulatsii horokhu posivnoho novym

Гудзенко О. Г., Ізболдін О. О. Біоенергетичні та економічні параметри оцінки вирощування гороху за різних схем передпосівної обробки насіння та попередників

Мета. Оцінити біоенергетичні та економічні параметри вирощування гороху сорту Мадонна за різних комбінацій інокулянтів і насіннєвих фунгіцидів залежно від попередника (пшениця озима, соняшник) у Степу України та виділити агротехнології з максимальною енергетичною віддачею й рентабельністю. **Методи.** У 2023–2025 рр. проведено двофакторний польовий дослід на чорноземі звичайному: фактор А – попередник (пшениця озима; соняшник); фактор В – передпосівна обробка насіння (контроль; фунгіциди Вайбранс РФС, Редіго, Сферіко, Авідо; інокулянти Ризолайн + Ризосейв, Атува + Премакс; та їх комбінації інокулянт + фунгіцид). Біоенергетичний аналіз включав сукупні витрати енергії, валову енергію врожаю, енергоємність 1 т і коефіцієнт енергетичної ефективності. Економічні показники визначали такі, як валовий прибуток, умовно чистий прибуток і рівень рентабельності на 1 га. **Результати.** Після попередника пшениця озима за врожайності 2,53–2,90 т/га та затраченою сукупною енергією на рівні 16,40–16,83 ГДж/га найвищі значення одержано для комбінацій інокулянт + фунгіцид таких, як Ризолайн + Ризосейв + Вайбранс РФС при коефіцієнті енергетичної ефективності 2,59 та мінімальну енергоємність – 5,80 ГДж/т. Інокуляція без фунгіциду Ризолайн + Ризосейв – забезпечила коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,54. Фунгіциди без інокуляції поступалися цьому показнику і становили 2,40–2,44. Після соняшнику абсолютні показники були нижчими, однак зберігалася перевага схем із інокуляцією. Найкращі комбінації інокулянт + фунгіцид досягали рівня $K_{\text{е}}$ = 2,41. Економічні результати узгодилися з енергетичними, а саме після попередника пшениці озимої максимальний прибуток склав – 12,1–12,2 тис. грн/га при рентабельності до 62 %, після соняшнику – 9,67–9,76 тис. грн/га, рентабельність 49–50 %. **Висновки.** В технології вирощування гороху визначальним системним чинником є попередник, а саме після пшениці озимої сформовано вищу продуктивність, нижчу енергоємність 1 т та вищий коефіцієнт енергетичної ефективності, ніж після попередника соняшника. Базовим технологічним рішенням слід вважати інокуляцію. Додавання сумісного фунгіциду виконує стабілізуючу функцію і забезпечує максимальну енергетичну та економічну ефективність. За ресурсних обмежень інокуляція як самостійний прийом є економічно виправданим, особливо після соняшнику.

Ключові слова: горох, інокуляція, протруйник, попередник, пшениця озима, соняшник, біоенергетична

оцінка, енергоємність, коефіцієнт енергетичної ефективності, економічна ефективність.

Gudzenko O. G., Izboldin O. O. Bioenergetic and economic parameters of pea cultivation evaluation under different schemes of pre-sowing treatment of seeds and precursors

Purpose. To evaluate the bioenergetic and economic parameters of cultivating field pea cv. Madonna under different combinations of inoculants and seed-applied fungicides, conditional on previous crop (winter wheat or sunflower) in the Steppe zone of Ukraine, and to identify technologies with the highest energy return and profitability. **Methods.** In 2023–2025, a two-factor field experiment was conducted on common Chernozem: factor A – previous crop (winter wheat; sunflower); factor B – seed pre-sowing treatment untreated control; fungicides Vibrance RFC, Redigo, Spherico, Avido; inoculants Rizolain + Rizosave, Atuva + Premax; and their inoculant + fungicide combinations. The bioenergetic assessment included total energy inputs, gross energy output of the yield, energy intensity per tonne, and the energy efficiency coefficient. Economic indicators comprised gross output value, conditional net profit, and profitability per hectare. **Results.** After winter wheat, at yields of 2.53–2.90 t · ha⁻¹ and total energy inputs of 16.40–16.83 GJ · ha⁻¹, the highest values were recorded for inoculant + fungicide combinations; Rizolain + Rizosave + Vibrance RFC achieved an EEC of 2.59 and the lowest energy intensity – 5.80 GJ · t⁻¹. Inoculation without fungicide Rizolain + Rizosave provided an EEC of 2.54. Fungicides without inoculation were inferior, with EEC = 2.40–2.44. After sunflower, absolute values were lower, yet schemes with inoculation retained superiority; the best inoculant + fungicide combinations reached EEC = 2.41. Economic outcomes mirrored the energy results: after winter wheat, maximum conditional net profit was 12.1–12.2 thousand UAH · ha⁻¹ with profitability up to 62 %, whereas after sunflower it was 9.67–9.76 thousand UAH · ha⁻¹ with 49–50 % profitability. **Conclusions.** The previous crop is a decisive systemic factor: following winter wheat yields were higher, energy intensity per tonne lower, and the energy efficiency coefficient greater than after sunflower. Inoculation should be considered the baseline technological practice; adding a compatible fungicide stabilizes performance and delivers maximal energy and economic efficiency. Under resource constraints, inoculation alone is an economically justified option, particularly after sunflower.

Key words: pea, inoculation, fungicide, previous crop, winter wheat, sunflower, bioenergetic assessment, energy intensity, energy efficiency coefficient, economic efficiency.

Дата першого надходження рукопису до видання: 20.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 14.12.2025