

Effectiveness of seed priming techniques for small grain cereals

Yu. Nedoborenko | T. Sakhno

Article info

Correspondence Author

Yu. Nedoborenko

E-mail:

yurii.nedoborenko@pdaa.edu.uaPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda St., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine**Citation:** Nedoborenko, Yu., & Sakhno, T. (2025). Effectiveness of seed priming techniques for small grain cereals. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (2), 103–111. doi: 10.31210/spi2025.28.02.16

This review aims to consolidate existing scientific insights regarding seed priming techniques for small grain cereals, perform a bibliometric assessment of scholarly activity in this area, and substantiate the urgency of intensifying research efforts to promote sustainable agricultural practices. Small grain cereals are vital contributors to global food systems and play an important role in restoring soil health. Pre-sowing seed treatment approaches for these crops are indispensable, as they support not only enhanced productivity but also contribute to environmental sustainability and the preservation of biodiversity. The agroecological relevance of seed priming technologies for small grain cereals is particularly high due to several key factors. Seed priming is a pre-sowing treatment technique that induces a physiological state in seeds, enhancing seedling survival and promoting more efficient germination. Various types of seed priming exist, including hydropriming, halopriming, osmopriming, biopriming, hormone priming, chemopriming, thermopriming, solid matrix priming, nanopriming, and physical methods. Despite its long-standing history and practical importance, seed priming remains underdeveloped and underutilized. The body of scientific literature on seed priming is relatively limited. To better understand the patterns observed in seed priming research over the past twenty-four years, a bibliometric analysis was conducted using the ScienceDirect database and compared with similar analyses conducted by other researchers using the Science Citation Index Expanded (SCI-E). The results indicate that seed priming research is significantly constrained in terms of volume, quantity, and quality. Therefore, advancing scientific research and fostering collaboration in this domain is crucial. Such progress requires both financial support and improved coordination among researchers with diverse expertise and perspectives.

Keywords: germination, growth, development, adaptation, winter wheat, spring barley, oats.

Ефективність видів праймінгу на насіння зернових колосових культур

Ю. А. Недоборенко | Т. В. Сахно

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Мета огляду полягала у систематизації наукових знань про методи праймінгу насіння зернових колосових культур, проведенні бібліометричного аналізу публікаційної активності в цій галузі й обґрунтуванні необхідності розширення досліджень для забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Зернові колосові культури відіграють ключову роль у світовому виробництві продовольства та відновленні ґрунтових ресурсів. Передпосівна технологія обробки цих культур є важливою як для забезпечення високого врожаю, так і для охорони довкілля та збереження біорізноманіття. Актуальність агроecологічних аспектів технологій передпосівної обробки зернових колосових культур на сьогодні надзвичайно висока з низки ключових причин. Праймінг насіння – це захід передпосівної обробки, який призводить до фізіологічного стану, що дозволяє насінню забезпечувати підвищену виживаність сіянців та ефективніше проростати. Існують різноманітні види праймінгу: гідропраймінг, галопраймінг, осмопраймінг, біопраймінг, гормонопраймінг, хіміопраймінг, термопраймінг, праймінг твердої матриці, нанопраймінг та фізичні методи. Дане питання не набуло достатнього розвитку та поширення, хоча є вагомим і доволі давнім способом обробки насіння. Існує незначна кількість наукової літератури з праймінгу насіння. Для кращого розуміння закономірностей, які спостерігалися в дослідженнях протягом останніх двадцяти чотирьох років, було проведено бібліометричний аналіз за допомогою інформаційної бази даних ScienceDirect і порівняно його з подібним аналізом, проведеним іншими авторами за базою даних Science Citation Index Expanded (SCI-E). Результати досліджень свідчать, що наукові роботи з праймінгу насіння значно обмежені за обсягом, кількістю й якістю. Отже, вкрай необхідно збільшувати прогрес у наукових дослідженнях і сприяти співпраці, що потребує підтримки як фінансової, так і кращої координації між вченими з різним досвідом та поглядами.

Ключові слова: схожість, ріст, розвиток, адаптація, пшениця озима, ячмінь ярий, овес.**Бібліографічний опис для цитування:** Недоборенко Ю. А., Сахно Т. В. Ефективність видів праймінгу на насіння зернових колосових культур. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (2). С. 103–111.

Зернові колосові культури відіграють ключову роль у світовому виробництві продовольства та відтворенні ґрунтових ресурсів [1]. Технологія передпосівної обробки цих культур є необхідною як з точки зору забезпечення високих врожаїв, так і з огляду на збереження біорізноманіття й охорону довкілля [2].

Актуальність теми агроекологічних аспектів технології передпосівної обробки зернових колосових культур на сьогодні надзвичайно висока з кількох ключових причин. По-перше, культури, такі як пшениця, ячмінь, кукурудза й інші, є основними у світовому виробництві продовольства. Вони забезпечують людство продукцією з борошна, крупами й іншими необхідними кормовими культурами у тваринництві. Тому забезпечення високої продуктивності й якості цих культур має велике значення для гарантування харчової безпеки [1].

По-друге, все більшої актуальності набуває охорона довкілля у зв'язку зі зростанням екологічних проблем, а саме: забруднення ґрунтів, водних ресурсів та зниження біорізноманіття. Використовуючи ефективні технології передпосівної обробки, можна сприяти зменшенню застосування хімічних добрив та засобів захисту рослин, що дозволяє захистити природні ресурси та зменшити негативний вплив на довкілля [3].

Оптимальна схожість забезпечує необхідну рівномірність появи сходів, що покращує приживлюваність рослин і знижує конкуренцію за ресурси [4]. Успішне проростання покращує збереження популяції рослин, адаптацію до мінливих умов середовища і сприяє екосистемним послугам, зокрема стабілізації ґрунту, кругообігу поживних речовин і забезпеченні середовищ існування для інших організмів [5].

Незважаючи на притаманну насінню здатність проростати та розвиватися, кілька суттєвих проблем можуть негативно вплинути на них. Зміна клімату, засолення ґрунту та води, посуха, а також наявність важких металів мають значний вплив на глобальну продуктивність сільськогосподарських культур. Обробка насіння перед висівом є важливим елементом агротехнологій, який дає змогу прискорити проростання насіння, поліпшити схожість, підвищити стійкість проростків до біотичних і абіотичних стресових чинників [6, 7].

Прогнози вказують, що до 2050 року підвищення температури та посуха можуть вплинути приблизно на половину орних земель, що суттєво призведе до зниження врожайності сільськогосподарських культур [8]. Кліматичні зміни вже спричинили негативний вплив на глобальне виробництво продовольства, зумовивши зниження продуктивності та прогнозованої врожайності основних сільськогосподарських культур у всіх регіонах світу [9, 10].

Сучасна технологія вирощування зернових культур охоплює широкий спектр агротехнічних заходів, серед яких передпосівна обробка насіння посідає провідне місце [11]. Така обробка істотно знижує

негативний вплив стресових чинників на початкових етапах росту й розвитку рослин, що зумовлює її обов'язкове використання в сучасних системах землеробства [12].

У науковій і науково-виробничій літературі нечасто зустрічається так званий праймінг, що у свою чергу вказує на недостатнє акцентування уваги на даному виді обробки насіння перед посівом [13]. Хоча цей спосіб за давніх часів був відомим і базовим для застосування давніми цивілізаціями, надалі він не набув значного розвитку через обмежену кількість досліджень даного питання.

Методи передпосівної обробки насіння

Використовуючи заходи різного впливу (фізичні, хімічні, біологічні тощо), можна знизити негативний вплив пошкоджень і покращити врожайні властивості насіння. Ці заходи безпосередньо впливають на процеси проростання, появу проростків і збільшення продуктивності рослин. Передпосівна і допосівна обробки проводяться для забезпечення різних цілей: покращення лабораторного аналізу, захисту насіння від шкідників і хвороб, стимулювання проростання і початкового росту насіння, збагачення їх корисними мікроорганізмами, покращення показників росту [14].

Дослідження методів праймінгу дає змогу поліпшити розуміння процесів росту рослин та їх потенційної адаптації до факторів навколишнього середовища. Численні відомі види праймінгу (фізичні, хімічні, біологічні) базуються на виборі речовини для обробки чи методів впливу [15].

На сьогодні в аграрному секторі впроваджується значна кількість технологічних інновацій, орієнтованих на підвищення врожайності, якості та стресостійкості продукції за одночасного скорочення застосування хімічних засобів [16]. Перспективним напрямом є використання різних біостимуляторів, зокрема корисних мікроорганізмів та рослинних екстрактів, які сприяють поліпшенню багатьох аспектів росту рослин, ефективному використанню ґрунтових ресурсів, відновленню родючості ґрунтів і зменшенню антропогенного навантаження [17].

Класифікація методів праймінгу

Праймінг насіння – це передпосівна обробка, яка призводить до фізіологічного стану, що дозволяє насінню прорости ефективніше та забезпечити підвищену виживаність сіянців. Одним із ключових напрямів удосконалення технології вирощування зернових культур є поліпшення методів праймінгу насіння з метою підвищення продуктивності та зміцнення стійкості рослин до дії несприятливих екологічних чинників [18].

Існують різні методи праймінгу: гідропраймінг, гормонопраймінг, галопраймінг, осмопраймінг, біопраймінг, нанопраймінг, праймінг твердої матриці, хіміопраймінг, термопраймінг і фізичні методи [19].

Основний метод обробки насіння базується на просоченні насіння, що дає йому пройти першу оборотну стадію проростання, даючи можливість зберігати при цьому толерантність до висихання. Завдяки цьому насіння зберігається до моменту

остаточного посіву, а під час наступного проростання демонструє прискорене та синхронізоване проростання [20]. Інші види застосовують фізичні обробки, такі як ультрафіолетове опромінення [21, 22], холод [23] або тепло [24], що також сприяє стимулюванню насіння до кращого проростання.

Історичний аспект розвитку праймінгу

Розуміння метаболічних процесів під час передпосівної обробки насіння набуває надзвичайної актуальності в контексті сучасної практики сільського господарювання. Це забезпечує ефективне використання технології праймінгу, що підвищує врожайність та забезпечує стійкість зернових культур до негативних факторів навколишнього середовища [25].

Історія праймінгу насіння має вікові етапи, починаючи від самого початку сільського господарства, коли людина тільки почала вивчати фізіологію насіння. Вже в ті давні часи було виявлено, що насіння не проростає однорідно та ефективно, що стало причиною виникнення зацікавленості до вивчення цього явища [26]. Стародавні цивілізації захоплювалися надзвичайною здатністю «мертвого насіння» проростати і давати життєздатні саджанці після проростання. Наприклад, грецький філософ Теофраст вже в античні часи (бл. 372–287 рр. до н. е.) акцентував увагу на фізіології насіння, висловлюючи припущення, що процес проростання може бути тимчасово перерваним [27].

Визначальними є 1920-ті роки, що ознаменувалися відкриттям рослинних гормонів. Це підкреслило важливість цих сполук для стійкості насіння до висихання, мобілізації резервів і процесу проростання [28]. З тих пір широко застосовувався широкий спектр емпіричних методів праймінгу для різних видів культурних рослин.

Біопраймінг як перспективний напрям

Особливої уваги заслуговує біопраймінг, який включає використання різноманітних біологічних препаратів і біостимуляторів для підвищення життєздатності насіння, покращення його проростання та розвитку. Зазвичай така обробка насіння стосується використання корисних мікроорганізмів, зокрема бактерій, що стимулюють ріст рослин (PGPR), здатних виживати в різних суворих умовах навколишнього середовища [29, 30].

Біостимулятор рослин визначається як будь-яка речовина або мікроорганізм, які застосовуються

для рослини і можуть призвести до покращення ефективності живлення та підвищити стійкість до абіотичного стресу з подальшим підвищенням якості врожаю [31].

Передпосівна підготовка насіння є ключовим та завершальним етапом насінництва, яка забезпечує підвищення насіннєвої якості – енергії проростання, чистоти, схожості, захисту проростків від шкідників та хвороб, що у свою чергу сприяє збільшенню польової схожості [32].

Бібліометричний аналіз

Існує незначна кількість наукової літератури з праймінгу насіння. Для отримання уявлення про закономірності, які спостерігалися в дослідженнях протягом останніх трьох десятиліть, було проведено бібліометричний аналіз за допомогою бази даних ScienceDirect і порівняно його з подібним аналізом, проведеним авторами за базою даних Science Citation Index Expanded (SCI-E) [33], що розташовані на платформі Web of Science.

Загальна кількість публікацій на момент аналізу з праймінгу насіння складає 25 884 посилання (*рис. 1, рис. 5*), в тому числі з пшениці – 4296 (*рис. 2, рис. 6*), вівса – 900 (*рис. 3, рис. 7*), ячменю – 2172 (*рис. 4, рис. 8*), за виключенням 2025 року, оскільки рік ще не завершився. Загальна тенденція в літературі показала послідовне зростання обсягу опублікованих робіт з 2001 року (332 публікації) по 2022 рік (1841), 2023 рік (2001), 2024 рік (2372).

Спостерігаючи щорічне збільшення кількості дослідницьких публікацій, можна зазначити, що дослідження праймінгу насіння розширилися протягом останніх десятиліть і дослідники в різних країнах приділяють більше уваги таким дослідженням, особливо останні 10 років. Це свідчить про те, що в цій галузі існує багато невирішених наукових питань і проблем.

Процедури праймінгу, які на практиці зазвичай використовуються, як правило, є власністю та контролюються спеціалізованими насіннєвими сільськогосподарськими компаніями, наприклад EasyPrime, Emergis і PROMOTOR™.

Обмеження дослідження

Оцінка статей була виконана з використанням виключно бази даних ScienceDirect, що закономірно призвело до обмеженого включення досліджень, опублікованих в інших журналах, що не належать до цієї бази. Це буде покращено в майбутньому шляхом включення додаткових баз даних. Хоча обсяг результатів пошуку дещо обмежений, дослідження пропонує хорошу початкову довідку для з'ясування напрямків розвитку праймінгу насіння.



25,884 results

Refine by:

Years

- ☐ 2025 (1,243)
- ☐ 2024 (2,372)
- ☐ 2023 (2,001)
- ☐ 2022 (1,841)
- ☐ 2021 (1,658)
- ☐ 2020 (1,385)
- ☐ 2019 (1,103)
- ☐ 2018 (1,030)
- ☐ 2017 (927)
- ☐ 2016 (805)
- ☐ 2015 (738)
- ☐ 2014 (665)
- ☐ 2013 (630)
- ☐ 2012 (588)
- ☐ 2011 (598)
- ☐ 2010 (539)

Рис. 1. Динаміка наукових публікацій з тематики «seed priming» у ScienceDirect, 2010–2025 pp.



4,641 results

Уточнити за:

Роки

- ☐ 2025 (345)
- ☐ 2024 (680)
- ☐ 2023 (549)
- ☐ 2022 (468)
- ☐ 2021 (409)
- ☐ 2020 (302)
- ☐ 2019 (201)
- ☐ 2018 (169)
- ☐ 2017 (153)
- ☐ 2016 (119)
- ☐ 2015 (98)
- ☐ 2014 (91)
- ☐ 2013 (76)
- ☐ 2012 (54)
- ☐ 2011 (59)
- ☐ 2010 (39)

Рис. 2. Динаміка наукових публікацій з тематики «seed priming wheat» у ScienceDirect, 2010–2025 pp.



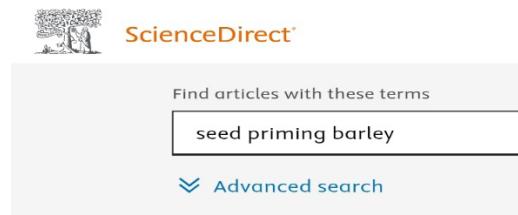
943 results

Уточнити за:

Роки

- ☐ 2025 (43)
- ☐ 2024 (83)
- ☐ 2023 (80)
- ☐ 2022 (77)
- ☐ 2021 (62)
- ☐ 2020 (50)
- ☐ 2019 (35)
- ☐ 2018 (25)
- ☐ 2017 (29)
- ☐ 2016 (30)
- ☐ 2015 (14)
- ☐ 2014 (20)
- ☐ 2013 (24)
- ☐ 2012 (14)
- ☐ 2011 (14)
- ☐ 2010 (10)

Рис. 3. Динаміка наукових публікацій з тематики «seed priming oats» у ScienceDirect, 2010–2025 pp.



2,305 results

Refine by:

Years

- ☐ 2025 (133)
- ☐ 2024 (290)
- ☐ 2023 (246)
- ☐ 2022 (222)
- ☐ 2021 (186)
- ☐ 2020 (135)
- ☐ 2019 (94)
- ☐ 2018 (79)
- ☐ 2017 (73)
- ☐ 2016 (61)
- ☐ 2015 (55)
- ☐ 2014 (55)
- ☐ 2013 (35)
- ☐ 2012 (43)
- ☐ 2011 (36)
- ☐ 2010 (29)

Рис. 4. Динаміка наукових публікацій з тематики «seed priming barley» у ScienceDirect, 2010–2025 pp.

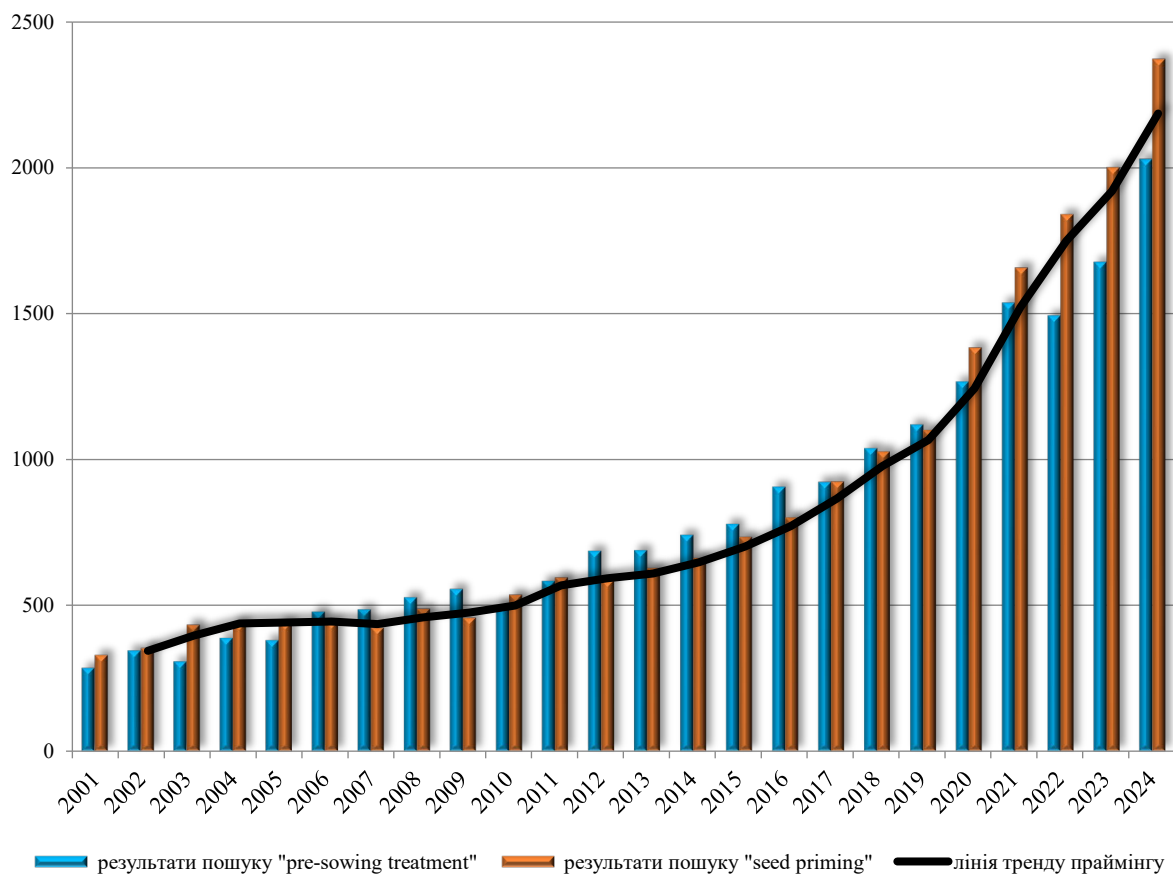


Рис. 5. Динаміка публікацій у базі ScienceDirect за ключовими словами «pre-sowing treatment» та «seed priming», 2001–2024 pp.

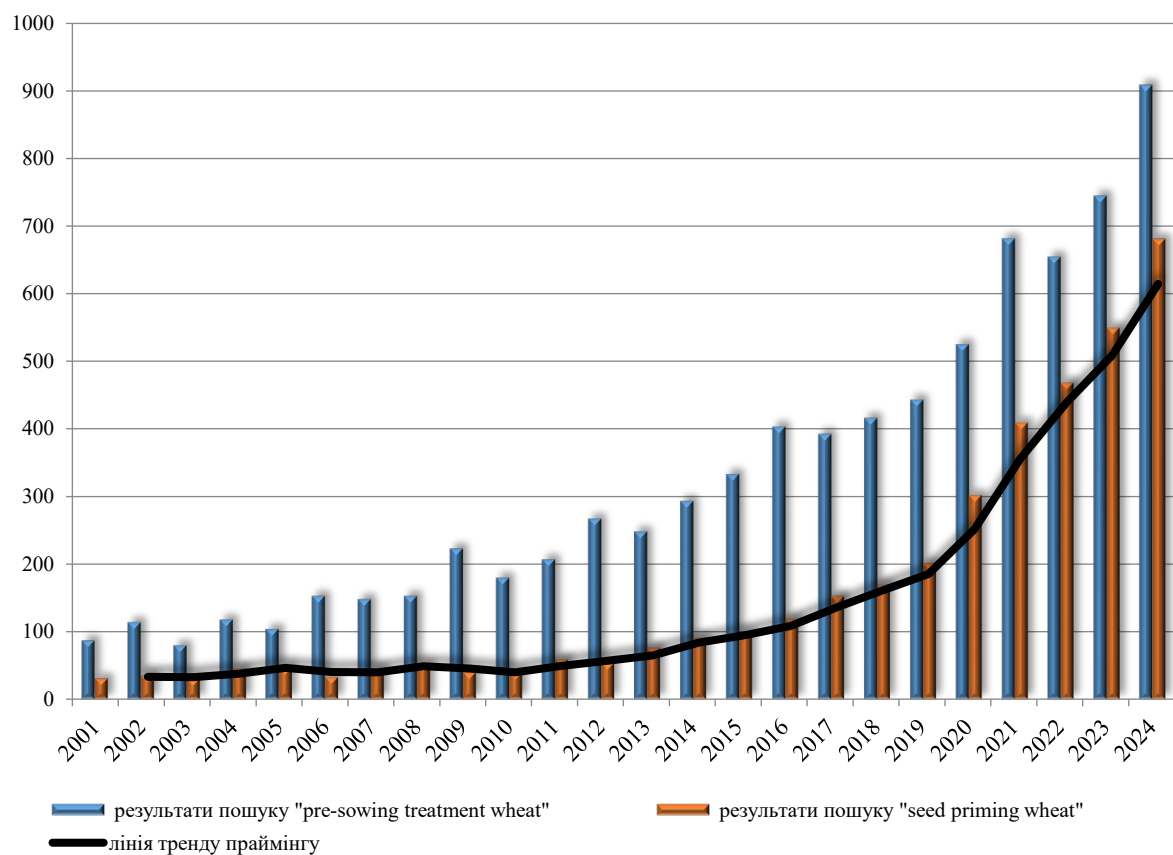


Рис. 6. Динаміка публікацій у базі ScienceDirect за ключовими словами «pre-sowing treatment wheat» та «seed priming wheat», 2001–2024 pp.

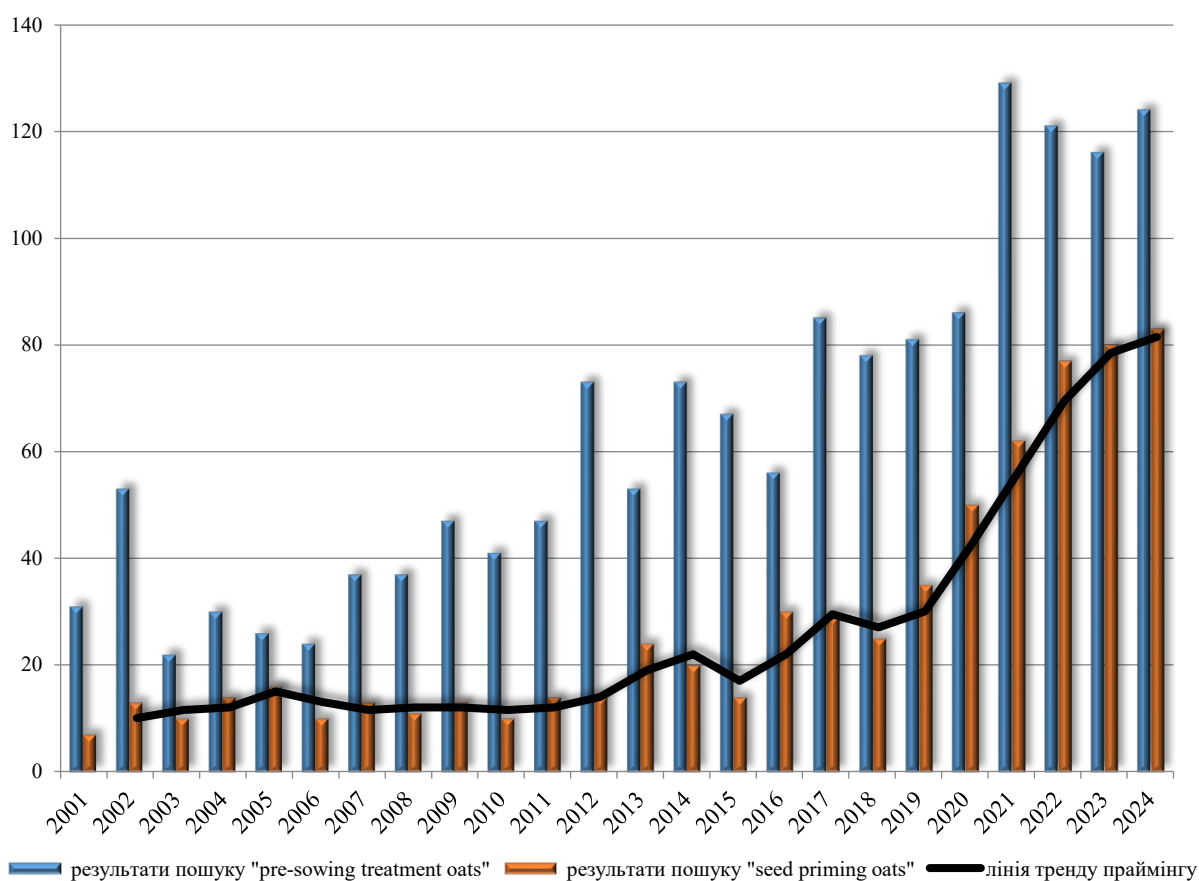


Рис. 7. Динаміка публікацій у базі ScienceDirect за ключовими словами «pre-sowing treatment oats» та «seed priming oats», 2001–2024 pp.

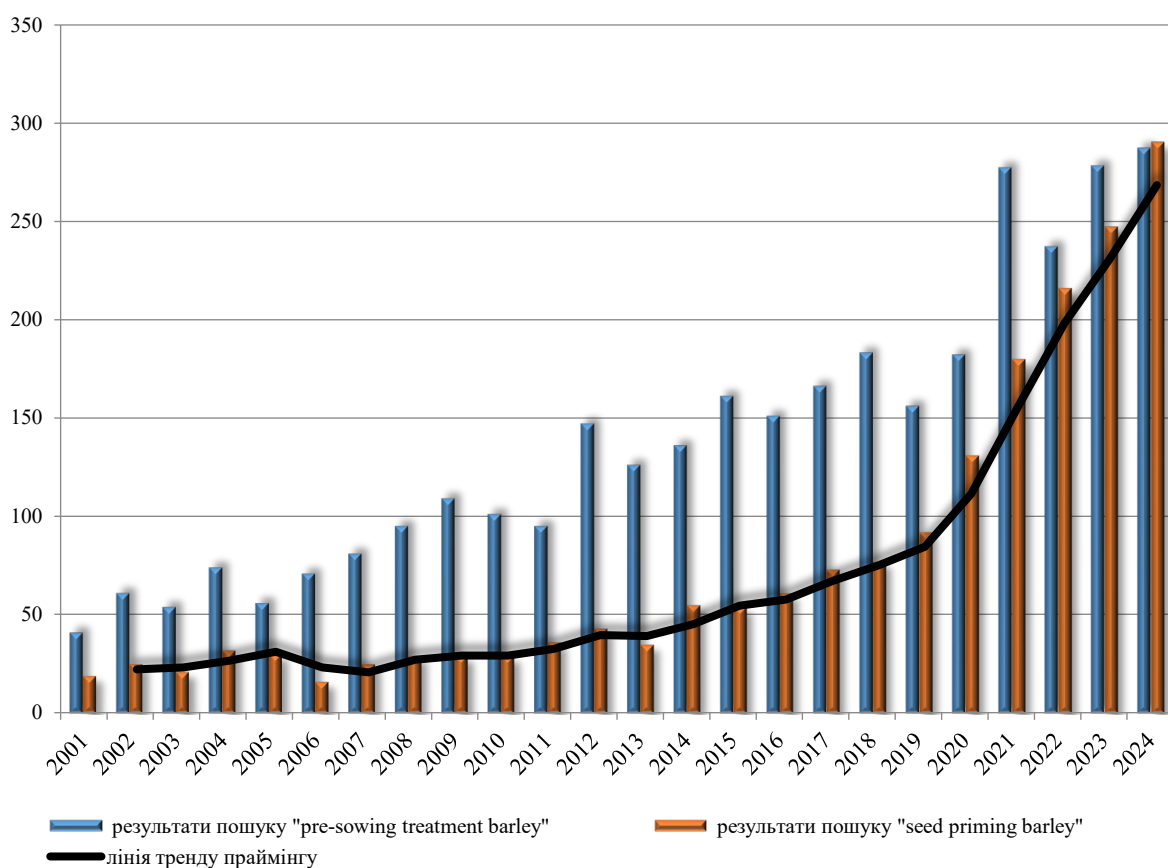


Рис. 8. Динаміка публікацій у базі ScienceDirect за ключовими словами «pre-sowing treatment barley» та «seed priming barley», 2001–2024 pp.

Практичне значення праймінгу

Забезпечення оптимальним вмістом мікроелементів проростаючого насіння є найбільш універсальним механізмом адаптації насіння та самої рослини до дефіциту мікроелементів у ґрунті. Це також підвищує стійкість рослин до грибних, бактеріальних інфекцій і багатьох інших стресових факторів, а саме: несприятливих температур ґрунту, змінної вологості та рН [34].

Важливим ключовим фактором є те, що передпосівна обробка насіння є економічно доцільним і навіть вигідним і простим способом надходження в рослини необхідних елементів. Раніше найбільшого поширення цей спосіб обробки використовували здебільшого для підготовки овочевих і бобових культур, наразі починає набувати популярності праймінг зернових [3].

Приклади практичного застосування праймінгу насіння

Ефективність різних методів праймінгу насіння була продемонстрована у низці експериментальних досліджень на зернових культурах.

У дослідженні Abbasdokht [35] проаналізовано вплив гідропраймінгу та галопраймінгу на процеси проростання та початкові етапи розвитку пшениці (*Triticum aestivum* L.). Експериментальні результати засвідчили, що гідропраймоване насіння демонструвало найвищі показники схожості та накопичення сухої маси проростків, особливо в умовах підвищених осмотичних потенціалів. Мінімальні значення схожості були зареєстровані у контрольної групи (необроблене насіння), дещо вищі показники спостерігалися після галопраймінгу. За умов високих осмотичних потенціалів гідропраймоване насіння характеризувалося підвищеним індексом проростання порівняно з галопраймованим або контрольним варіантами. Статистичний аналіз виявив значущий вплив взаємодії між типом обробки насіння й осмотичним потенціалом на індекс енергії проростання розсади.

Дослідження Ajourі та співавторів [36] продемонструвало ефективність праймінг-обробки насіння ячменю з використанням розчинів, збагачених фосфором (P) та цинком (Zn). Результати експерименту показали суттєве підвищення схожості з 65 % до 95 % та скорочення періоду проростання до 3 діб порівняно з необробленим контролем. Крім того, праймінг значно стимулював ростові процеси та поглинання фосфору і цинку 4-тижневими розсадами. Найбільш важливим є встановлений факт покращення ефективності водокористування рослинами в умовах посушливого стресу на 44 % порівняно з непраймованим насінням.

Комплексне дослідження Kanjevas та співавторів [37] було спрямоване на визначення потенціалу різних методів праймінгу (гормоно-, гало-, осмо- та гідропраймінгу) у підвищенні стійкості пшениці до низькотемпературних умов (10 °C). У якості праймуючих агентів використовувалися: для гормонопраймінгу – гіберелінова кислота та індол-3-оцтова кислота; для галопраймінгу – KNO_3 та MgSO_4 ;

для осмопраймінгу – H_2O_2 та аскорбінова кислота; для гідропраймінгу – дистильована вода. Моніторинг включав оцінку ростових параметрів, а також комплексний аналіз біохімічних і фізіологічних показників проростків пшениці.

Експериментальні дані засвідчили значний стимулюючий ефект праймінгу на дослідні характеристики. Гормоно- та галопраймування продемонстрували позитивний вплив на ростові процеси, індекс енергії проростання та загальний вміст розчинних білків у проростках пшениці. Гормонопраймування також сприяло зниженню концентрації малонового діальдегіду у проростках порівняно з непраймованим контролем. Найбільш виражений вплив здійснено на активність антиоксидантних ферментів (каталази, супероксиддисмутази, аскорбатпероксидази, гваяколпероксидази та піргалолпероксидази) спостерігався після обробки насіння KNO_3 [37].

Ефективність праймінг-обробки була підтверджена підвищенням вмісту фенольних сполук (включаючи флавоноїди) та загальної антиоксидантної активності. Хроматографічний аналіз виявив збільшення концентрацій хлорогенової кислоти, катехіну, 4-гідроксibenзойної кислоти, синапінової кислоти, рутину, нарингину та кверцетину у праймованих проростках пшениці порівняно з непраймованими зразками, вирощеними в низькотемпературних умовах. Найбільш виражені ефекти були досягнуті при використанні гормоно- та гідропраймінгу [37].

На основі отриманих результатів автори дійшли висновку, що праймінг насіння являє собою перспективний агротехнічний прийом для підвищення стійкості проростків пшениці до низькотемпературного стресу.

Висновки

Мета огляду полягала у систематизації наукових знань про методи праймінгу насіння зернових колосових культур, проведенні бібліометричного аналізу публікаційної активності в цій галузі й обґрунтуванні необхідності розширення досліджень для забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Визначено, що вивчення та розвиток сучасних методів передпосівної обробки зернових культур відкриває широкі можливості для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва та охорони навколишнього середовища. Застосування нових агротехнічних технологій з екологічно чистим насінням підвищить урожайність сільськогосподарських культур і забезпечить стійкість рослин до мінливих умов вирощування та суворих умов навколишнього середовища, що є важливим компонентом сталого розвитку сільського господарства.

Необхідно продовжувати зусилля в цьому напрямку, щоб створити сучасні й екологічно безпечні методи вирощування сільськогосподарських культур, які зможуть забезпечити більш стійкі і прибуткові результати в аграрному секторі та зберегти природні ресурси заради майбутніх поколінь.

Проведений аналіз показує, що дослідження праймінгу насіння обмежені за обсягом, якістю та кількістю. Тому вкрай необхідно збільшувати прогрес у дослідженнях і заохочувати співпрацю, включаючи фінансову підтримку та глобальну координацію між вченими з різними поглядами та досвідом.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні найбільш ефективного виду праймінгу та вдосконаленні методів праймування насіння для підвищення врожайності та забезпечення стійкості зернових культур до негативних факторів навколишнього середовища.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. Cereal production in Drylands. (2012). *Water and Cereals in Drylands*, 27–34. <https://doi.org/10.4324/9781849773744-8>
2. Korotkova, I. V., & Chaika, T. O. (2023). Formuvannya produktyvnosti polby zalezno vid sposobu peredposivnoi obrobky nasinnia za orhanichnoi ta tradytsiinoi tekhnolohii vyroshchuvannya. *Innovatsiini zernoproducty i tekhnolohii : mizhnarodna internet-konferentsiia*, 21 liutoho 2023. Uman: Umanskyi NUS [in Ukrainian]
3. Korotkova, I. V., Chaika, T. O., Romashko, T. P., Chetveryk, O. O., Rybalchenko, A. M., & Barabolia, O. V. (2023). Emmer wheat productivity formation as depending on pre-sowing seed treatment method in organic and traditional technology cultivation. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14 (1), 41–47. <https://doi.org/10.15421/022307>
4. Lozovitskyi, P. S. (2010). *Osnovy zemlerobstva ta roshlynytstva. Knyha 2. Roslynytstvo: navchalnyi posibnyk*. Kyiv [in Ukrainian]
5. Ibrahim, E. A.-A. (2019). Fundamental processes involved in seed priming. *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 63–115. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_4
6. Saberi, M., Davari, A., Ebrahimzadeh, A., Shahraki, M. & Ansarinik, H. (2013). Influence of chemical stimulators to germination improvement, support and resistant of *Trifolium rigidum* species under stress allelopathic components of *Eucalyptus camaldulensis*. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 5 (14), 1563–1570.
7. Saberi, M., Shahriari, A. R., Tarnian, F., Jafari, M. & Safari, H. (2011). Influence of seed priming on germination and seedling range species under allelopathic components. *Frontiers of Agriculture in China*, 5 (3), 310–321. <https://doi.org/10.1007/s11703-011-1098-y>
8. Kumar, L., Chhogyel, N., Gopalakrishnan, T., Hasan, M. K., Jayasinghe, S. L., Kariyawasam, C. S., Kogo, B. K., & Ratnayake, S. (2022). Climate change and future of agri-food production. *Future Foods*, 49–79. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91001-9.00009-8>
9. Arora, N. K. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2, 95–96. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00078-w>
10. Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). Climate change has likely already affected global food production. *PLoS One*, 14 (5), e0217148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148>
11. Kosylovych G., & Holiachuk I. O. (2023). Effectiveness of the new seed treatment preparation vibrance integral against diseases and pests on spring barley. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agronomy*, 27, 129–132. <https://doi.org/10.31734/agronomy2023.27.129>
12. Bezpal'ko, V. V., Stankevych, S. V., Zhukova, L. V., Zabrodina, I. V., Turenko, V. P., Horyainova, V. V., Poedinceva, A. A., Batova, O. M., Zayama, O. Yu., Bondarenko, S. V., Dolya, M. M., Mamchur, R. M., Drozd, P. Yu., Sakhnenko, V. V., & Matsyura, A. V. (2020). Pre-sowing seed treatment in winter wheat and spring barley cultivation. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (6), 255–268. https://doi.org/10.15421/2020_291
13. Sher, A., Sarwar, T., Nawaz, A., Ijaz, M., Sattar, A., & Ahmad, S. (2019). Methods of seed priming. *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 1–10. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_1
14. Bezpal'ko, V. V. (2016). Formuvannya urozhajnosti pshehni ozimoyi pri zastosuванні ekologichno bezpechnih sposobiv peredposivnoyi obrobki nasinnia. *Visnik Centru Naukovogo Zabezpechennia APV Harkivskoyi Oblasti*, 21, 11–17. [in Ukrainian]
15. Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J., & Rakshit, A. (2021). Seed priming: A potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 654001. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001>
16. Akhilesh, K. B., & Sooda, K. (2019). A study on impact of technology intervention in the field of agriculture in India. *Smart Technologies*, 373–385. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7139-4_28
17. Pysarenko, V., Pischalenko, M., Chaika, T., Lohvynenko, V., Krupskaya, N., Korolevich, Y., & Kirieiev, Y. (2023). The impact of bio-stimulators on zucchini plants under pre-sowing seed treatment. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (4), 9–13. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.02>
18. Tian, Y., Gama-Arachchige, N. S., & Zhao, M. (2023). Trends in seed priming research in the past 30 years based on bibliometric analysis. *Plants*, 12 (19), 3483. <https://doi.org/10.3390/plants12193483>
19. Sakhno, T., Marenich, M., Semenov, A., Sakhno, Y., & Jaisi, D. (2025). Roles of seed priming in increasing the adaptability and productive potential of agricultural crops. *Advances in Agronomy*, 131–197. <https://doi.org/10.1016/bbs.agron.2024.11.004>
20. Thapaa, S., Baralb, B., Shresthab, M., & Dahal, K. C. (2022). Effect of different priming methods on germination behaviour of Broadleaf Mustard cv. Marpha Chauda Paate. *Tropical Agrobiodiversity*, 3 (2), 52–59. <https://doi.org/10.26480/tra.02.2022.52.59>
21. Semenov, A. O., Semenova, N. V., Cakhno, T. V., Liashenko, V. V., & Chaika, T. O. Vykorystannia UF-vyprominiuvannia dla peredposivnoho oprominennia nasinnia ripaku ozymoho. *Rozvytok sil'skykh terytorii na zasadakh ekolohichnosti, enerhonzalezhnosti y enerhoefektyvnosti : II Mizhnarodna nauko-vo-praktychna konferentsiia* (11 lystopada 2021). Poltava: PDAU [in Ukrainian]
22. Korotkova, I., Chaika, T., Romashko, T., & Rybalchenko, A. (2022). Photosynthetic pigments content in emmer wheat plants as criteria of productivity in traditional and organic farming technology. *Innovative Biosystems and Bioengineering*, 6 (1), 31–39. LOCKSS. <https://doi.org/10.20535/ibb.2022.6.1.255277>
23. Hussain, H. A., Hussain, S., Anjum, S. A., & Hussain, S. (2019). Seed priming toward enhanced chilling tolerance in field crops: An overview. *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 265–286. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_13
24. Poomani, S., Pravinkumar, R. V., Anbalagan, A., & Kirubakaran, S. (2024). Thermo priming: a technique to enhance seed quality by alleviating heat stress. *Krishi Science*, 5 (8), 83–86.
25. Chen, K., & Arora, R. (2013). Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 94, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.03.005>
26. Evenari, M. (1984). Seed physiology: Its history from antiquity to the beginning of the 20th century. *The Botanical Review*, 50 (2), 119–142. <https://doi.org/10.1007/bf02861090>
27. Raj, A. B., & Raj, S. K. (2019). Seed priming: An approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science*, 11 (1), 227–234. <https://doi.org/10.31018/jans.v11i1.2010>
28. Looney, N. E. (1994). Hormones and horticulture. *HortScience*, 32 (6), 1014–1018.
29. Sott, M. K., Nascimento, L. d. S., Foguesatto, C. R., Furstenuau, L. B., Faccin, K., Zawislak, P. A., Mellado, B., Kong, J. D., & Bragazzi, N. L. (2021). A bibliometric network analysis of recent publications on digital agriculture to depict strategic themes and evolution structure. *Sensors*, 21 (23), 7889. <https://doi.org/10.3390/s21237889>
30. Winkler, B., Mangold, A., von Cossel, M., Clifton-Brown, J., Pogrzeba, M., Lewandowski, I., Iqbal, Y., & Kiesel, A. (2020). Implementing miscanthus into farming systems: A review of agronomic practices, capital and labour demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110053>

31. Onipko, V., Voropina, V., & Kalashnik, O. (2023). Prospects for the use of growth regulators and biostimulants in medicinal plant production. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (3), 42–46. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.08>
32. Polishchuk, V., & Konovalov, D. (2024). Ways of improving winter wheat seed quality during pre-sowing preparation. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (1), 69–73. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.12>
33. ScienceDirect. Search for peer-reviewed journal articles and book chapters (including open access content). Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/>
34. Ibrahim, E. A.-A. (2019). Fundamental processes involved in seed priming. *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 63–115. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_4
35. Abbasdokht, H. (2011). The effect of hydropriming and halopriming on germination and early growth stage of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Desert*, 16 (1), 61–68. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2011.23023>
36. Ajouri, A., Asgedom, H., & Becker, M. (2004). Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167 (5), 630–636. <https://hdl.handle.net/20.500.11766/13475>
37. Kanjevac, M., Bojović, B., Ćirić, A., Stanković, M., & Jakovljević, D. (2023). Seed priming improves biochemical and physiological performance of wheat seedlings under low-temperature conditions. *Agriculture*, 13 (1), 2. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010002>

ORCID

Yu. Nedoborenko 

<https://orcid.org/0009-0007-2394-6252>

T. Sakhno 

<https://orcid.org/0000-0001-7049-4657>



2025 Nedoborenko Yu. and Sakhno T. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.