

The background of the entire image is a stylized, abstract graphic. It features broad, flowing, wavy lines in various shades of green and light blue. Scattered throughout these lines are several realistic-looking green leaves of different sizes and orientations. The overall aesthetic is clean, modern, and nature-inspired.

КОЛЕКТИВНА МОНОГРАФІЯ

**Екологоорієнтовані підходи
відновлення техногенно
забруднених територій і
створення сталих екосистем**

**Полтавське відділення академії наук
технологічної кібернетики України**

**ЕКОЛОГООРІЄНТОВАНІ ПІДХОДИ
ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОГЕННО
ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ І СТВОРЕННЯ
СТАЛИХ ЕКОСИСТЕМ**

Колективна монографія

Полтава – 2022

Рецензенти:

В. І. Троценко, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри рослинництва Сумського національного аграрного університету
М. Я. Шевніков, доктор сільськогосподарських наук, професор, директор Відокремленого структурного підрозділу «Аграрно-економічний фаховий коледж Полтавського державного аграрного університету»

Г. В. Черевко, доктор економічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри економіки Львівського національного університету природокористування

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Полтавським відділенням академії наук технологічної кібернетики України (протокол № 3 від 07.04.2022 р.)

Е 45 Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астроя», 2022. 452 с.

У колективній монографії викладено результати досліджень щодо відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем. Розглянуто проблеми та перспективи екологізації сільськогосподарського виробництва для відтворення сталих екосистем. Розкрито питання ефективного використання природно-ресурсного потенціалу сільських територій у контексті екологізації та енергозбереження. Наведено напрями та підходи щодо збереження та відновлення природно-ресурсного потенціалу сільських територій. Досліджено інноваційні екологоорієнтовані підходи у відновленні техногенно забруднених територій і розвитку сільських територій. Визначено напрями екологізації методів переробки сільськогосподарської продукції у забезпеченні продовольчої безпеки України.

Розраховано на науковців, викладачів, керівників і спеціалістів органів державного управління, фахівців агроформувань, аспірантів, студентів і всіх, хто цікавиться питаннями щодо відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем.

ISBN 978-617-7915-59-0

Автори вміщених матеріалів висловлюють власну думку, яка не завжди збігається з позицією редакції. За зміст матеріалів відповідальність несуть автори.

© Колектив авторів, 2022

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ СТАЛИХ ЕКОСИСТЕМ	10
1.1. Стратегічні напрями формування екологічно орієнтованого господарювання аграрних підприємств (<i>Багорка М. О., Юрченко Н. І.</i>)	10
1.2. Генетичні ресурси картоплі України та їх раціональне використання (<i>Бондус Р. О., Харченко Ю. В., Фурдига М. М., Міщенко Л. Т., Подгаєцький А. А., Гордієнко В. В., Гордієнко О. В., Коваль В. С.</i>)	18
1.3. Екологічне обґрунтування використання бішофіту на посівах ячменю ярого в умовах Лісостепу України (<i>Горобець М. В.</i>)	28
1.4. Системи захисту фітоценозів пшениці озимої від септоріозу в Поліссі та Лісостепу України (<i>Ключевич М. М., Столяр С. Г., Білоцерківська Л. В.</i>)	36
1.5. Екологоорієнтоване оброблення льоносолами і температура в розстелених стрічках соломи за її росяного мочіння (<i>Лімонт А. С., Лімонт З. А.</i>)	48
1.6. Сидерати культур проміжного вирощування у відновленні родючості ґрунту та біосеквестрації вуглецю (<i>Міщенко Ю. Г., Шувар І. А., Коваленко І. М.</i>)	56
1.7. Органічне землеробство як основа екологізації сільськогосподарського виробництва (<i>Писаренко В. М., Писаренко П. В., Піщаленко М. А.</i>)	65
1.8. Гречка як важливий складник екологоорієнтованих підходів до збереження і розвитку агроєкосистем (<i>Тригуб О. В., Ляшенко В. В., Чайка Т. О.</i>)	73
1.9. Екологізація вирощування помідорів у приватному секторі методами органічного землеробства (<i>Чайка Т. О., Бараболя О. В., Крикунова В. Ю., Лотиш І. І.</i>)	85
1.10. Органічне аграрне виробництво у забезпеченні сталого розвитку України (<i>Чиж В. І., Харченко В. А.</i>)	95
РОЗДІЛ 2. ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ У КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	102
2.1. Programme for the ecological and economic development of an innovation-active enterprise in conditions of realization of sustainable development policy risks insurance and change	

3.7. Екологічна безпека та охорона навколишнього природного середовища в сільській місцевості (*Степаненко Т. О., Макєєва Л. М., Мокєрова Н. В.*) 236

3.8. The modeling peculiarities of pollutions propagation of the different origin in saturated-unsaturated media (*Telyma S. V.*) 245

РОЗДІЛ 4. ІННОВАЦІЙНІ ЕКОЛОГООРІЄНТОВАНІ ПІДХОДИ У ВІДНОВЛЕННІ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ І РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ 255

4.1. Застосування інформаційної технології для оцінки формування рослинно-мікробних комплексів у продуктивних агроценозах (*Адамчук-Чала Н. І., Литвинюк Л. К., Бойченко С. В.*) 255

4.2. Перспективи розвитку «зеленої енергетики» на техногенно забруднених територіях (*Бернацька Н. Л., Джумеля Е. А., Тупіло І. В.*) 263

4.3. Використання біологічно активних речовин у ветеринарній медицині для відновлення та ефективного ведення тваринництва і розвитку сільських територій (*Гришук Г. П., Ревунець А. С., Веремчук Я. Ю., Євтух Л. Г.*) 271

4.4. Роль гумінових препаратів та їх сумішей з мінеральними добривами в технологіях вирощування пшениці озимої (*Короткова І. В., Чайка Т. О.*) 279

4.5. Розробка сценарію інноваційної моделі управління проектами енергоефективності в енергетичному секторі (*Пащенко П. О.*) 322

4.6. Основы нанодобрений: приготовление и возможности применения в современном сельском хозяйстве (*Сахно Т. В.*) 329

4.7. Реабілітація радіоактивно забруднених земель Українського Полісся (*Чоботько Г. М., Кучма М. Д., Райчук Л. А., Швиденко І. К., Тараріко М. Ю., Уманський М. С.*) 361

РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ 380

5.1. Вплив зрошення на гідрометеорологічний режим полів з овочевими культурами (*Польовий А. М., Божко Л. Ю., Барсукова О. А., Черноволук Р. Г.*) 380

5.2. Розв'язання проблеми переробки сільськогосподарської продукції у забезпеченні продовольчої безпеки населення (*Пузир Т. М., Яценко Л. Д., Алексов О. П.*) 388

5.3. Шляхи раціонального використання рослинної сільськогосподарської продукції (*Снєжкін Ю. Ф., Шапар Р. О., Дмитренко Н. В., Гусарова О. В.*) 394

4.4. Роль гумінових препаратів та їх сумішей з мінеральними добривами в технологіях вирощування пшениці озимої

Короткова І. В.¹, Чайка Т. О.²

¹Полтавський державний аграрний університет

²Полтавське відділення академії наук технологічної кібернетики України

1. Основні функції стимуляторів росту рослин гумінової природи

Сучасні технології вирощування зернових культур з метою підвищення їх урожайності передбачають максимально повне задоволення потреб рослин в елементах мінерального живлення. Однак вирішити це питання за рахунок внесення лише мінеральних добрив не можливо. Стійкий розвиток виробництва продукції рослинництва вимагає використання не тільки ефективних мінеральних добрив, що містять макро- і мікроелементи, а й стимуляторів росту рослин, які є багатим джерелом біологічно активних сполук, функція яких полягає в стимулюванні природних процесів для підвищення засвоєння поживних речовин, стійкості до біотичних стресів і підвищення ефективності в боротьбі з бур'янами [434, 435]. Лише за таких умов можливе підвищення продуктивності сільського господарства з одночасною екологізацією його виробництва та зменшення негативного впливу на природне навколишнє середовище.

Стимулятори росту сприяють зростанню і розвитку рослин протягом усього життєвого циклу від проростання насіння до дозрівання рослин шляхом підвищення ефективності метаболізму для збільшення врожайності та поліпшення якості врожаю, підвищення стійкості рослин до абіотичних стресів і відновлення після них, полегшення засвоєння і використання поживних речовин, поліпшення якісних характеристик продукції, підвищення ефективності водопоглинання, фізико-хімічних властивостей ґрунту і стимулювання розвитку додаткових ґрунтових мікроорганізмів [436].

Завдяки змінам гормонального статусу й активації антиоксидантних систем рослин, стимулятори росту здатні полегшити реакцію рослин на біотичний [437 , 438] і водний стрес, який не тільки впливає на

⁴³⁴ Yakhin O. I., Lubyantsev A. A., Yakhin I. A., Brown P. H. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front Plant Sci.* 2017. Vol. 7. P. 2049.

⁴³⁵ Du Jardin P. Plant Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulation. *Scientia Horticulturae.* 2015. Vol. 196. P. 3–14.

⁴³⁶ Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil.* 2014. Vol. 383. P. 3–4.

⁴³⁷ Khafagy M., Khafagy Z., Al-Abidin A. H., et al. Effect of Pre-treatment of Barley Grain on Germination and Seedling Growth Under Drought Stress. *Advances in Applied Sciences.* 2017. Vol. 2, Issue 3. P. 33–42.

⁴³⁸ Piotrowska-Niczyporuk A., Bajguz A. The effect of natural and synthetic auxins on the growth, metabolite content and antioxidant response of green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxioophyceae). *Plant Growth Regulation.* 2014. Vol. 73, Issue 1. P. 57–66.

проростання насіння, а й додатково збільшує середній період дозрівання сільськогосподарських культур [439, 440].

Стимулятори росту компенсують дефіцит поживних речовин [441], які активують ферментативну активність всіх рослинних клітин і утворення стимулюючих сполук самою рослиною. Результатом є підвищена проникність мембрани корневих клітин і поліпшене проникнення мінеральних речовин ґрунтового розчину до рослин. Крім того, за рахунок застосування стимуляторів росту прискорюється поглинання кисню рослинами, що, в свою чергу, посилює фотосинтез і фотосинтетичну активність агроценозів рослинних культур і призводить до збільшення врожайності [442].

Сприятлива дія стимуляторів росту була встановлена при вирощуванні багатьох рослинних культур [436, 443], і, у тому числі, зернових та бобових [444, 445]. Ефект застосування стимуляторів росту щодо зернових культур пов'язують зі здатністю рослин до підвищеного накопичення макронутрієнтів і мікронутрієнтів [446, 447], зі збільшенням площі асиміляційної поверхні рослини [448, 449], підвищенням концентрації хлорофілу [450, 451], і, як наслідок, активізацією фотосинтетичних процесів і зростанням продуктивності культури [452, 453]. Завдяки цьому, стимулятори росту здатні покращувати якість і врожайність зерна і, головне, використання стимуляторів росту дозволяє зменшити кількість

⁴³⁹ Soltani A., Gholipour M., Zeinali E. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*. 2006. Vol. 55, Issue 1. P. 195–200.

⁴⁴⁰ Mokhberdoran F., Kalat S. M. N., Haghighi R. S. Effect of temperature, iso-osmotic concentration of NaCl and PEG agents on germination and some seedling growth yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *Asian J Plant Sci*. 2009. Vol. 8. P. 409–416.

⁴⁴¹ Papenfus H. B., Kulkarni M. G., Stirk W. A., et al. Effect of a commercial seaweed extract (Kelpak®) and polyamines on nutrient-deprived (N, P and K) okra seedlings. *Scientia Horticulturae*. 2013. Vol. 151. P. 142–146.

⁴⁴² Bakhtmat M. I., Sendetsky I. V., Kozina T. V., et al. The influence of growth regulator and seeding rates on the formation of winter rape production in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Agrology*. 2019. Vol. 2, Issue 3. P. 189–193.

⁴⁴³ Craigie J. S. Seaweed extracts stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*. 2011. Vol. 23. P. 371–393.

⁴⁴⁴ Шепілова Т. П. Вплив регуляторів росту на продуктивність сої в умовах Північного Степу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 3. С. 80–84.

⁴⁴⁵ Маренич М. М., Юрченко С. О. Посівні якості насіння сільськогосподарських культур залежно від застосування стимуляторів росту. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2016. № 1–2. С. 18–21.

⁴⁴⁶ Shah M. T., Zodape S. T., Chaudhary D. R., Eswaran K., Chikara J. Seaweed SAP as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. *Journal of Plant Nutrition*. 2013. Vol. 36, Issue 2. P. 192–200.

⁴⁴⁷ Jindo K., Canellas L. P., Albacete A., Santos L. F., Rocha R. L. F., Baia D. C., Canellas N. O. A., Goron T. L., Olivares F. L. Interaction between Humic Substances and Plant Hormones for Phosphorous Acquisition. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Issue 5. P. 640.

⁴⁴⁸ Nardi S., Pizzeghello D., Schiavon M., Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*. 2016. Vol. 73, Issue 1. P. 18–23.

⁴⁴⁹ Ren B., Zhang J., Dong S., Liu P., Zhao B. Regulations of 6-Benzyladenine (6-BA) on Leaf Ultrastructure and Photosynthetic Characteristics of Waterlogged Summer Maize. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2017. Vol. 36. P. 743–754.

⁴⁵⁰ Xiaotao D., Yuping J., Hong W., Haijun J., Hongmei Z., Chunhong C., Jizhu Y. Effects of cytokinin on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters, antioxidative system and carbohydrate accumulation in cucumber (*Cucumis sativus*) under low light. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013. Vol. 35, Issue 5. P. 1427–1438.

⁴⁵¹ Lakshminpathi, Adiga J. D., Kalaivanan D., Halesh G. K. Effect of plant growth regulators on leaf area, chlorophyll content, carotenoids, stomatal count and yield of cashew (*Anacardium occidentale* L.) var. Bhaskara. *Journal of Plantation Crops*. 2017. Vol. 45, Issue 2. P. 141–146.

⁴⁵² Khan N., Bano A. M. D., Babar A. Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15, Issue 4. e0231426. doi: 10.1371/journal.pone.0231426

⁴⁵³ Popko M., Michalak I., Wilk R., Gramza M., Chojnacka K., Górecki H. Effect of the New Plant Growth Biostimulants Based on Amino Acids on Yield and Grain Quality of Winter Wheat. *Molecules*. 2018. Vol. 23, Issue 2. P. 470.

застосовуваних мінеральних добрив, пестицидів, які впливають на безпечність продукції рослинництва та негативно впливають на природне навколишнє середовище [454]. Доведено, що комбіноване застосування органічних, мінеральних та гумінових добрив позитивно впливає на вміст поживних речовин і органічного вуглецю в ґрунті [455, 456].

Аналізуючи широкий спектр літературних джерел, в яких представлені результати експериментальних досліджень з вивчення ефективності дії стимуляторів росту різного походження, нами було обрано саме гумінові препарати, оскільки їх джерелом є природна сировина – низинний торф, буре вугілля (леонардит), сапропелі озерні тощо [457].

Як відомо, леонардит є видом бурого вугілля і містить велику кількість гумінових кислот, але низький вміст фульвових кислот, які є важливою складовою фізіологічно активних речовин. Гуматні добрива на основі торфу мають вищий вміст фульвових кислот і менше баластних включень. Сапропелі містять значну кількість мінеральних та хімічних домішок. Добрива на основі рідкого лігніну набули значного поширення завдяки високій розчинності та високому вмісту фульвових кислот [458].

Ефективне зростання рослин під впливом гумінових речовин відбувається завдяки посиленню засвоєння поживних речовин і подовженні розмірів бічних коренів, що часто називають «ауксиноподібним ефектом», який є результатом індукції активності АТФ в плазматичній мембрані [459]. Завдяки гуміновим речовинам можна поліпшити доступність мікроелементів, наприклад, таких як залізо, але не тільки за рахунок хелатування, і за рахунок підвищення здатності коренів поглинати поживні речовини з ґрунтового розчину [460]. Саме на даній властивості базується їх ефективність в боротьбі з бур'янами.

Найважливішою властивістю гумінових речовин є їх здатність зменшувати вплив негативних погодних факторів, забезпечувати стійкість рослин до посухи або надлишку вологи при високій або низькій температурі навколишнього середовища, що має вирішальне значення в технології

⁴⁵⁴ Bulgari R., Franzoni G., Ferrante A. Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*. 2019. Vol. 9. P. 306.

⁴⁵⁵ Bharali A., Baruah K. K., Bhattacharyya P., et al. Integrated nutrient management in wheat grown in a northeast India soil: Impacts on soil organic carbon fractions in relation to grain yield. *Soil & tillage research*. 2017. Vol. 168. P. 81–91.

⁴⁵⁶ Manzoor A., Khattak R. A., Dost M. Humic acid and micronutrient effects on wheat yield and nutrients uptake in salt affected soils. *International journal of agriculture & biology*. 2014. Vol. 16. P. 991–995.

⁴⁵⁷ Хоменко Б. С., Дуденко М. Р., Короткова І. В. Переваги та недоліки застосування гумітів у аграрному виробництві. *Хімія, екологія та освіта* : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 21–22 травня 2020 року). Полтава, 2020. С. 157–161.

⁴⁵⁸ Артем'єва К. С. Економічна ефективність комплексного застосування рідких органомінеральних добрив. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 5. С. 73–76.

⁴⁵⁹ Nunes R. O., Domiciano G. A., Alves W. S., et al. Evaluation of the effects of humic acids on maize root architecture by label-free proteomics analysis. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 1–11.

⁴⁶⁰ Zanin L., Tomasi N., Cesco S., Varanini Z., Pinton R. Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Front Plant Sci*. 2019. Vol. 10. P. 1–10.

виросування зернових культур [461, 462]. Встановлено, що застосування гумінових речовин у живленні сільськогосподарських культур може зменшити негативну дію нестачі вологи на 20 % [463]. Будучи неспецифічними активаторами імунної системи, дані речовини підвищують стійкість рослин до різних захворювань, стимулюють розвиток кореневої системи, регулюють кореневе та позакореневе живлення, покращують проникнення поживних речовин і мікроелементів з ґрунтового розчину в рослини. В результаті підвищується коефіцієнт використання мінеральних добрив, що дає можливість скоротити дози азотних добрив на 30–50 %, і таким чином, знизити витрати і заощадити значні кошти.

Узагальнюючи вищезгадане, можна виділити основні функції гумінових речовин, як такі [464, 465, 466]:

а) концентруюча (акумулятивна), яка полягає у накопиченні необхідних для рослинних організмів макро- та мікроелементів;

б) транспортна, яка полягає у формуванні геохімічних потоків мінеральних та органічних речовин, переважно у водних середовищах;

в) регуляторна – об'єднує багато різних явищ та процесів, що відбуваються у ґрунтах, водах та інших природних середовищах;

г) стимулююча, що відображується у прискоренні проростання насіння, підвищенні стійкості організмів до різних стресових факторів та інших фізіологічних ефектів.

Сукупність всіх цих функцій гумінових речовин – зростання продуктивності сільськогосподарських культур (таблиця 1).

Поряд з позитивним впливом на розвиток рослин, гумінові речовини можуть здійснювати негативний вплив на ґрунт, а саме: у гуматах, походженням яких є леонардит, містяться важкі метали; гумінові препарати, що отримані з сапропелю, містять отруйні речовини; використання фосфорних добрив або селітри в сумішах з гуматами може призвести до утворення нерозчинних сполук і, крім того, застосування гуматних добрив у великих концентраціях може призвести до пригнічування рослин [458]. Але всі вищезгадані недоліки гуматів переважають суттєві переваги даних препаратів, до найважливіших з яких слід віднести їх дію в початковий період розвитку рослин і в період, коли зовнішні умови створюють стрес для рослин: при посухах і заморозках, що характерно для зони Лісостепу України, до яких належить Полтавщина.

⁴⁶¹ Verma A., Singh J., Kumar V., et al. Non-parametric analysis in multi environmental trials of feed barley genotypes. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*. 2017. Vol. 6, Issue 6. P. 1201–1210.

⁴⁶² Zymarioieva A., Zhukov O., Romanchuck L., et al. Spatiotemporal dynamics of cereals grains and grain legumes yield in Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25, Issue 6. P. 1107–1113.

⁴⁶³ Shahryari R. Economic and biological yield assessment of wheat genotypes under terminal drought in presence of humic acid using stress tolerance indices. *IIOAB journal*. 2017. Vol. 7. P. 1–6.

⁴⁶⁴ Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem*. 2002. Vol. 34. P. 1527–1536.

⁴⁶⁵ Zhang X., Ervin E. H. Cytokinin-containing seaweed and humic acid extracts associated with creeping bentgrass leaf cytokinins and drought resistance. *Crop Sci*. 2004. V. 44. P. 1737–1745.

⁴⁶⁶ Закорчевный И. И., Михальская Л. Н., Швартау В. В. Гуминовые вещества и удобрения на их основе. *Грунтознавство*. 2012. Т. 13, № 1–2. С. 60–78.

1. Вплив гумінових регуляторів росту на продуктивність основних сільськогосподарських культур

Сорт, гібрид	Контроль, без обробки	Гумат натрію, 0,4 л/га	Гумат калію, 0,4 л/га
	ц/га		
Озима пшениця			
Миронівська 61	45,9	49,8	49,9
Яра пшениця			
Харківська 26	35,6	38,8	38,9
Озиме жито			
Дозор	41,0	42,7	43,0
Кукурудза			
Суботівський 190	64	73	75
Соняшник			
Гавриш 14	18,4	21,9	22,1
Соя			
Чернятко	14,5	15,9	16,3
Ярий ячмінь			
Вакула	32,4	34,1	34,3
Озимий ячмінь			
Достойний	33,6	35,2	35,4
Овес			
Чернігівський 28	34,0	36,8	36,9
Цукровий буряк			
Уладівський однонасінний	785	815	819
Картопля			
Лугівська	310	334	336
Поліська рожева	305	327	329
Томат			
Лагідний	829	862	864
Хорів	844	869	875
Борівський	839	868	871
Бобрицький	833	862	865
Флора	810	835	838
Огірок			
Джерело	282	304	309
Роднічок	294	315	322
Капуста пізня			
Харківська зимова	911	947	951
Білосніжка	924	949	954
Яна	915	945	950
Цибуля			
Сквирська	202	217	223
Штутгарт	210	229	235
Морква			
Лосиноостровська	377	401	406
Нантська	368	397	412
Кавун			
Харківський 118	883	908	916

Джерело: дані [467].

⁴⁶⁷ Гумінові речовини – безпечні регулятори екосистем / Яшук В. У., Корецький А. П., Ковбасенко Р. В., Дмитрієв О. П., Ковбасенко В. М. Київ, 2016. 89 с.

Ефективність дії гумінових препаратів залежить від багатьох чинників, у тому числі й від способів використання. Найпоширенішими способами їх застосування при вирощуванні зернових культур є передпосівна обробка насіння, додавання до ґрунтового субстрату перед висівом насіння та позакореневе використання. Будь-який із цих методів дає позитивний ефект, але найкращий результат досягається при їх спільному застосуванні [468].

В переважній більшості досліджень доведено, що найкращий ефект забезпечує все ж таки передпосівна обробка насіння, яку часто поєднують з позакореневим підживленням посівів і проводять декілька разів протягом періоду вегетації [469]. Однак, є експериментальні дослідження, автори яких стверджують, що саме внесення гумінових речовин у ґрунт дає найкращий ефект, пояснюючи це тим, що природне місце перебування цих речовин – ґрунт, тому найефективнішим прийомом їх застосування буде внесення в ґрунт перед висівом насіння [470].

Можливе використання гумінових препаратів шляхом обприскування вегетуючих частин рослин, тобто безпосередньо через листовий апарат. Але слід зазначити, що через листові пластини легко проникають лише низькомолекулярні гумінові сполуки. Надходження високомолекулярних речовин через клітинні мембрани проблематично в силу великих розмірів молекул цих сполук, але передбачається, що великі молекули можуть розпадатися на фрагменти і поступово проникати в цитоплазму клітини [471].

Проведений аналіз літературних джерел, дозволяє зробити висновок, що завдяки унікальній властивості гумінових речовин зменшувати силу поверхневого натягу рідин, додавання гумінових речовин буде раціональним у будь-якому способі їх застосування – поживні речовини будуть використовуватись рослинами набагато ефективніше [472].

Однак, залишаються не вирішеними питання про спільне застосування стимуляторів росту і мінеральних добрив та їх вплив на продуктивність зернових культур, зважаючи на те різноманіття препаратів, що зараз представлені в аграрному виробництві.

Таким чином, вивчення дії цих препаратів, як у чистому вигляді, так і сумісно з мінеральними добривами, дає змогу спрямовано регулювати потенційні можливості рослинної культури з метою отримання високих врожаїв. Впровадження в технологію вирощування зернових, зокрема пшениці озимої, гумінових препаратів є одним із шляхів вирішення

⁴⁶⁸ Korotkova I., Marenych M., Hanhur V., Laslo O., Chetveryk O., Liashenko V. Weed control and winter wheat crop yield with the application of herbicides, nitrogen fertilizers, and their mixtures with humic growth regulators. *Acta Agrobotanica*. 2021. Vol. 74. doi: 10.5586/aa.748

⁴⁶⁹ Sharma S. H., Fleming C., Selby Ch., Rao J. R., Trevor M. Plant biostimulants: a review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*. 2014. Vol. 26. P. 465–490.

⁴⁷⁰ Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. From environmental aspects to molecular factors. *Plant Signal Behav.* 2010. Vol. 5, Issue 6. P. 635–643. doi: 10.4161/psb.5.6.11211

⁴⁷¹ Безуглова О. С., Поленко Е. А., Горюцов А. В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор). *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 4 (60). С. 11–14.

⁴⁷² Ciarkowska K., Sołek-Podwika K., Filipek-Mazur B., Tabak M. Comparative effects of lignite-derived humic acids and FYM on soil properties and vegetable yield. *Geoderma*. 2017. Vol. 303. P. 85–92.

проблеми вирощування екологічно безпечної продукції із застосуванням добрив природного походження, що і визначає актуальність даної роботи.

2. Молекулярна будова і властивості гумінових речовин, їх структурні особливості та зв'язок з біологічною активністю

Що ж представляють собою гумінові речовини та завдяки чому вони мають такі властивості? З різних причин точних молекулярних формул для будь-яких гумінових речовин на сьогоднішній день не існує. Гумінові речовини є особливим класом природних сполук, що утворюються із залишків відмерлих організмів і містять стійкі до біорозкладання структури. Вони присутні в ґрунтах (до 10 %), водах, твердих горючих копалинах: у складі органічної маси торфів (25–50 %), бурому вугіллі (51,5 %).

На основі диференційної розчинності у воді гумінові речовини поділяють на гумін, гумінові кислоти і фульвові кислоти. Фульвові кислоти – це добре розчинна у воді фракція, яка за хімічним складом є сумішшю слабких органічних кислот аліфатичного і ароматичного ряду. Через відносно невеликий розмір молекули фульвових кислот можуть легко проникати в корені рослин, стебла і листя, вносячи корисні мікроелементи. Добрива, що містять фульвові кислоти у вигляді хелатів з мікроелементами, на певних стадіях росту рослин можуть бути ефективним засобом збільшення їх продуктивності.

Гуміни являють собою сукупність міцно зв'язаних з мінеральною частиною ґрунту гумінових і фульвових кислот. До їх складу входять також компоненти рослинних решток, що важко розкладаються мікроорганізмами: целюлоза, лігнін. Гуміни не розчиняються в жодному розчиннику, тому їх ще називають інертним гумусом.

Гумінові кислоти – є фракцією, яка розчинна в нейтральному та лужному середовищі, та є основними носіями важливих для рослин функцій [473, 474]:

- накопичують важливі елементи живлення, створюють енергетичний запас, стимулюють ріст та розвиток рослин;
- регулюють фізико-хімічні властивості ґрунту, приймають участь у формуванні ґрунтової структури, активізації мікрофлори, покращують водно-фізичні властивості ґрунту та його тепловий режим, прискорюють процеси гуміфікації;
- міцно зв'язують більшість радіонуклідів, важкі метали та залишки пестицидів, попереджуючи цим забруднення рослин і ґрунтових вод;
- виявляють прямий фізіологічний вплив на рослини, тому що є носіями незамінних амінокислот та вітамінів.

⁴⁷³ Бобырь Л. Ф. Интенсивность фотосинтеза, состояние электронно-транспортной цепи и активность фосфорилирующей системы под воздействием гуминовых веществ. *Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения*. 1980. Т. VII. С. 54–63.

⁴⁷⁴ Богословский В. Н. Левинский Б. В., Сычев В. Г. Агротехнологии будущего. Книга 1. Энергены. Москва : РИФ «Антиква», 2004. 163 с.

Саме наявність у гумінових кислот різних специфічних властивостей, які відкривають можливості їх широкого практичного використання в багатьох галузях, у тому числі й в аграрному виробництві, зумовлюють зацікавленість в цих речовинах як виробників, так і дослідників. Найбільшу увагу в даний час привертає біологічна активність гумінових кислот і препаратів на їх основі [475]. Але їх хімічна структура та взаємозв'язок з властивостями все ще залишаються не вивченими.

Вперше гумінові кислоти були виділені з торфу німецьким вченим Ахардом Ф. у 1786 році і вже понад 200 років вивчаються науковцями різних країн. Саме вони є аналогами речовин, які утворюються в результаті природних процесів розкладання органічних залишків у ґрунті. З різних причин точних молекулярних формул для будь-яких гумінових речовин на сьогоднішній день не існує. Всі запропоновані варіанти мають характер схем, вони гіпотетичні, оскільки враховують тільки склад сполук і деякі їх властивості, тоді як розташування атомів і атомних груп залишається при цьому невідомим. Таким чином, з точки зору хімічної структури, гумінові кислоти характеризуються нестехіометричним складом, нерегулярністю та гетерогенністю будови.

На ранніх етапах дослідження будови гумінових кислот була запропонована наступна структура, згідно з якою ці речовини є кислотами циклічного будови, що мають значну ступінь полімеризації (рис. 1).

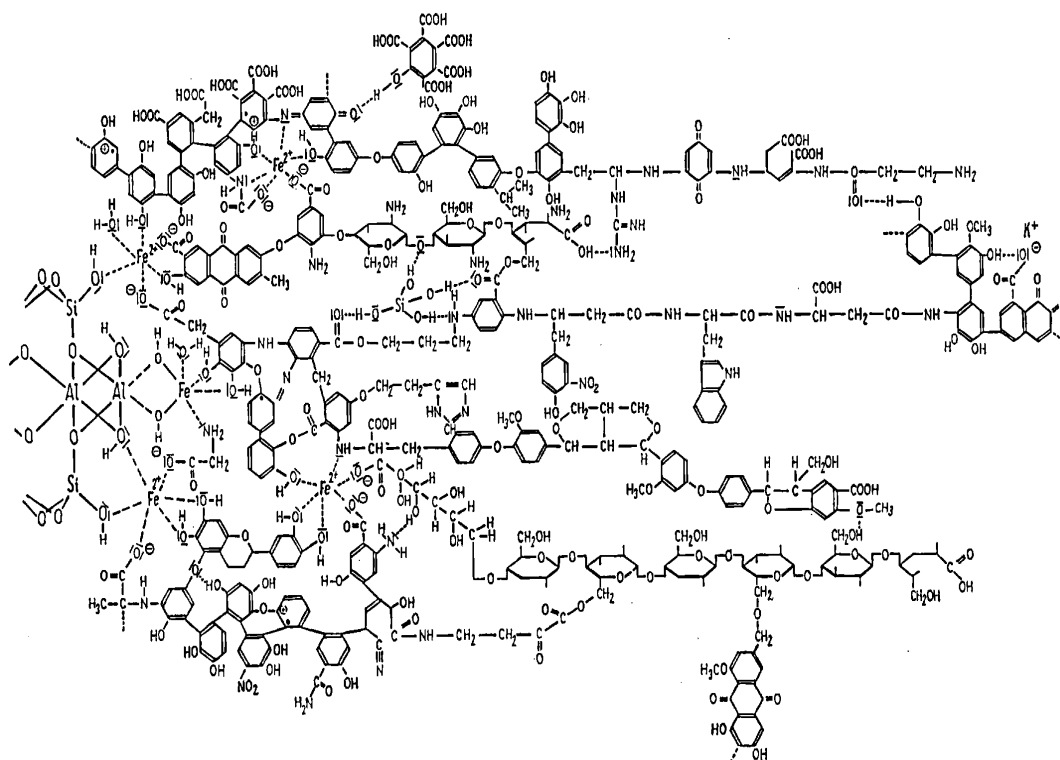


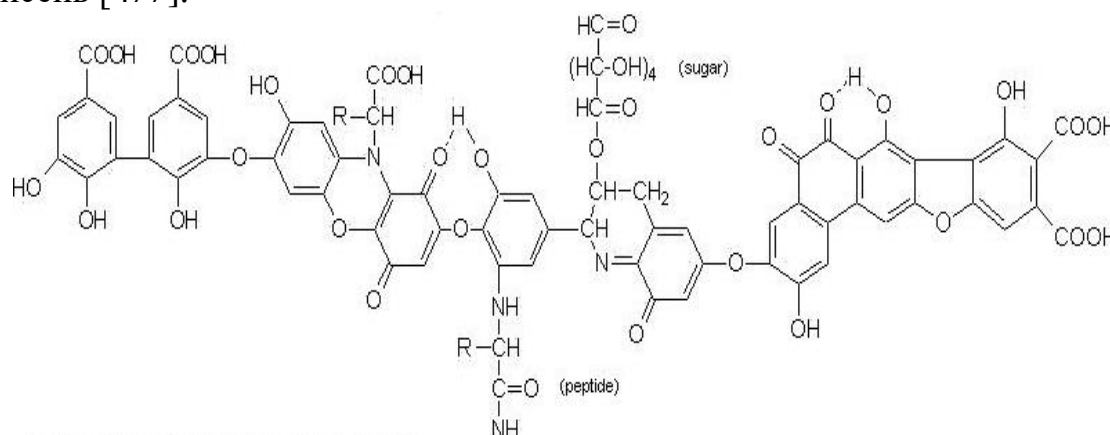
Рис. 1. Структура гумінової кислоти згідно з Klein hempel Dieter (1970)

Джерело: дані [476].

⁴⁷⁵ Жеребцов С. И., Малышенко Н. В., Вотолін К. С., Андроханов В. А., Соколов Д. А., Дугаржав Ж., Исмагилов З. Р. Гуминовые препараты: связь структурно-группового состава и биологической активности. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 5. С. 52–60.

У них є ароматичне ядро, пов'язане з амінокислотами, пептидами, цукрами та іншими компонентами аліфатичної структури. Ядро складається з ароматичних кілець фенольного типу або гетероциклічних сполук, що містять азот такі як, наприклад, індол, піримідин, пурин і тощо. Циклічні макрокомплекси включають бензольні кільця, аліфатичні ланцюги і функціональні групи, такі як карбокси-, гідрокси-, карбонільні, естерні, етерні, амідні групи тощо [476].

Згодом набула поширення гіпотетична модель гумінової кислоти, яка була запропонована Стівенсоном Ф. (рис. 2), відповідно до якої молекула включає бензольні кільця з фенольними і карбоксильними групами, азотовмісні гетероцикли, що пов'язані між собою через азот і кисень [477].



**Рис. 2. Будова фрагменту гумінової кислоти за
Стівенсоном Ф. (1994)**

Джерело: дані [477].

Сучасні структурні моделі гумінових кислот можна пояснити з позиції біохімічного походження молекул, але в даний час жодна із запропонованих схем їх будови не знайшла підтвердження при вивченні структури сучасними фізико-хімічними методами. Головним аспектом, що ускладнює просування ідей стосовно будови, є те, що повну і однозначну формулу гумінових кислот скласти досить важко, тому, що гумінові кислоти, в цілому, є сполуками змінного складу. Останнє означає, що заміна в молекулі гумінових кислот окремих структурних фрагментів, кінцевих ланцюгів і функціональних груп не змінює суттєво їх хімічні та фізичні властивості в цілому. З цієї причини висловлювалися думки, що розробка формул гумінових кислот взагалі неможлива [478].

Всі запропоновані варіанти молекулярних формул гумінових кислот відображають лише загальний склад сполук. Встановлено, що мономер гумінової кислоти має загальну формулу $C_3O_5H_{299}N_{16}O_{134}S$ з молекулярною

⁴⁷⁶ Dieter K. Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1970. Vol. 14, Issue 1. P. 3–14.

⁴⁷⁷ Stevenson F. J. *Humic Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons. New York, 1994. P. 34–41.

⁴⁷⁸ Попов А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / под ред. Е. И. Ермакова. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 248 с.

масою 6364. Молекула складається із негідролізованого ядра і гідролізованої периферичної частини. Ядро збагачене конденсованими ароматичними та гетероциклічними бензойними фрагментами, основу яких складають кільця бензолу, фурану, нафталіну, антрацену, піролу, індолу, піридину, тіофену та хіноліну. Периферична частина молекули представлена аліфатичними сполуками та вуглеводно-пептидним комплексом.

Елементний склад коливається у відносно вузьких межах: С – від 52 до 62 %, О – від 31 до 39 %, N – від 1,7 до 5 %, Н – від 2,8 до 5,8 %, S від 0,7 до 1,2 % і Р – до 0,5 % [479]. Формула включає також 26 карбоксильних груп (COOH-), 34 фенольних і гідроксильних груп, 6 аміногруп (-NH₂) а також 7 гетероциклічних атомів азоту. Функціональні групи в молекулі гумінових кислот можуть бути приєднані як до ароматичних кілець, так і до аліфатичних ланцюгів. В структурі переважають кисневмісні функціональні групи, їх масова частка становить 30–35 %, це, в першу чергу, карбоксильні (-COOH) та гідроксильні (-OH) групи, водень яких активно вступає в реакцію заміщення, що й обумовлює кислотні властивості й ємність катіонного обміну гумінових кислот. В молекулах гумінових кислот близько 30–40 % кисню припадає на кисневмісні гетероцикли [480].

Молекула може містити від 2 до 15 таких фрагментів, що утворюють, за допомогою хімічних зв'язків, ланцюги, які в природному стані згорнуті в клубок. Ці клубки утворюють великі агрегати, що формують органічну частину ґрунту. Розміри таких агрегатів досягають 150 Å, що не дозволяє їм проникати через клітинну мембрану. Тому, в природних умовах, тільки незначна частина гумінових кислот – залишки фрагментів молекул, що утворюються в результаті хімічних реакцій в ґрунтовому розчині або під дією мікроорганізмів, можуть потрапляти всередину клітини і виконувати функцію стимулятора росту і розвитку рослин. Наявність ароматичного ядра та аліфатичної периферії, широкого спектру різних типів функціональних груп дозволяє розглядати гумінові кислоти як високо реакційні речовини, що активно вступають у взаємодії (іонні, донорно-акцепторні, окисно-відновні, гідрофобні тощо) з неорганічними та органічними сполуками.

У воді молекули гумінових кислот мають тенденцію до агрегації, утворюючи колоїди. Самоагрегація посилюється з підвищенням концентрації та в присутності іонів металів. Збільшення рН середовища призводить до уповільнення агрегації [481]. Швидкість руху агрегатів відносно велика і відповідає моделі колоїдної агрегації з обмеженою

⁴⁷⁹ Яговкин А. К., Миронова Ю. В., Мионов А. А. Развитие представлений о молекулярной организации сложных органических систем – гуминовых кислот. *Вестник Югорского государственного университета*. 2009. Вып. 3. № 14. С. 80–86.

⁴⁸⁰ Gomes de Melo B. A., Motta F. L., Santana M. H. A. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments (Review). *Materials Science and Engineering: C*. 2016. Vol. 62. P. 967–974. doi: 10.1016/j.msec.2015.12.001

⁴⁸¹ Tan L., Tan X., Mei H., et al. Coagulation behavior of humic acid in aqueous solutions containing Cs⁺, Sr²⁺ and Eu³⁺: DLS, EEM and MD simulations. *Environ. Pollut.* 2018. Vol. 236. P. 835–843.

дифузії [460]. Крім того, було показано, що через амфіфільний характер молекули гумінових кислот утворюють міцели в основних водних розчинах при відносно високих концентраціях [482]. Завдяки такій поведінці та широкому розподілу молекулярної маси гумінових кислот, точне визначення молярної маси цих сполук залишається неможливим. Дійсно, незважаючи на значний обсяг робіт, присвяченої цій темі, молекулярна маса гумінових кислот залишається суперечливою.

Яким же чином структурні особливості гумінових кислот пов'язані з їх біологічною активністю? Деякий взаємозв'язок було встановлено шляхом моделювання різних органічних архітектур, що містять мономерні гумінових кислот, до складу яких входять алкільний вуглеводень, поліциклічний ароматичний вуглеводень, органічний амін, вуглеводень, що містить карбонову кислоту, і вуглеводні, що містять фенол, які пов'язані через кисневий місток з утворенням гумусоподібних речовин. Встановлено, що кожна з мономерних структур включена до відповідних гумусоподібних речовин, причому різні структури призводять до різного ступеня стимуляції рослин. Високу біологічну активність гумінових кислот пов'язують з наявністю фрагментів молекул зі співвідношенням Н/С і О/С від 0,5 до 1,0 і 0,2 до 0,4, відповідно.

З іншого боку, біологічну активність гумінових кислот пов'язують зі здатністю приймати участь в окисно-відновних реакціях в рослинній клітині і посиленням цих процесів відповідно до теорії Баха-Паладіна-Сент-Дьйорді [483]. Визначено фрагменти, що є відповідальними за реакцію рослин на біотичні стреси і ряд інших чинників.

Біологічну активність гумінових кислот пов'язують також з таким структурним параметром молекули, як «ступінь ароматичності», що відображає вміст хіноїдних груп, фенольних гідроксилів, вільних радикалів. Експерименти з вивчення впливу гумінових препаратів при вирощуванні ряду зернових культур дозволили зробити висновок про існування прямої залежності біологічної активності гумінових кислот не тільки від ступеня ароматичності, а й від інших структурно-групових параметрів, таких як гідрофільно-гідрофобний параметр і параметр, що відображує співвідношення ароматичних і аліфатичних фрагментів органічної маси гумінових кислот (ароматичність/аліфатичність) (рис. 3) [484]:

⁴⁸² Capasso S., Chianese S., Musmarra D., Iovino P. Macromolecular Structure of a Commercial Humic Acid Sample. *Environments*. 2020. Vol. 7. P. 32. doi:10.3390/environments7040032

⁴⁸³ Yoon H. Y., Jeong H. J., Cha J-Y., et al. Structural variation of humic-like substances and its impact on plant stimulation: Implication for structure-function relationship of soil organic matters. *Science of the total Environment*. 2020. Vol. 725. 138409.

⁴⁸⁴ Жеребцов С. И., Малышенко Н. В., Вотолін К. С. и др. Гуминовые препараты: связь структурно-группового состава и биологической активности. *Вестник КузГТУ*. 2018. № 5. С. 52–60.

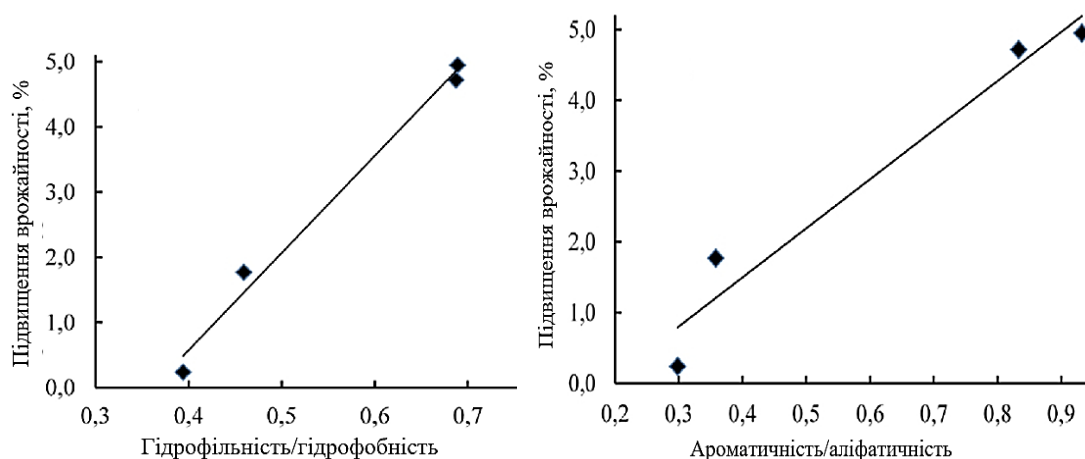


Рис. 3. Зв'язок урожайності пшениці зі структурними параметрами гумінових кислот

Джерело: дані [484].

Дослідження взаємозв'язку біологічної активності гумінових кислот з їх структурними компонентами авторами досліджень [485 , 486] було проведено на основі показників врожайності пшениці, а також за змінами у будові кореня томату та кукурудзи при використанні ряду природних і модифікованих гумінових речовин, отриманих з різних природних джерел. Визначено, що окислені форми, а також гумінові речовини, в які було введено алкільний (CH_3-) радикал є найефективнішими компонентами цих речовин. Зроблено припущення, що гідрофобний домен гумінових кислот містить в собі біологічно активні молекули, подібні ауксином. При контакті з органічними кислотами, які надходять з кореня, порушується гідрофобна оболонка та вивільнюються біологічно активні компоненти.

Таким чином, для досягнення максимального ефекту в практичному застосуванні гумінових речовин необхідно, перш за все, встановити елементний і структурно-груповий склад препаратів на предмет вмісту фенольних і хіноїдних функціональних груп, а також ступеня ароматичності компонентів, що слугуватиме прогнозуванню їх біологічної активності.

3. Особливості технологій вирощування пшениці озимої з використанням гумінових препаратів в умовах Лісостепу України

Урожайність зерна пшениці озимої значною мірою залежить від місця створення сорту та погодних умов під час досліджень, тому найвищої врожайності слід очікувати від сортів, створених для умов Лісостепу України. У таких сортів підвищення врожайності та посухостійкості може зумовлюватися добре розвинутою кореневою системою, інтенсивністю транспірації, стійкістю протопласта, підвищеною жаростійкістю

⁴⁸⁵ Dobbs L. B., Canellas L. P., Olivares F. L., et al. Bioactivity of Chemically Transformed Humic Matter from Vermicompost on Plant Root Growth. *J Agric Food Chem*. 2010. Vol. 58, Issue 6. P. 3681–3688.

⁴⁸⁶ Короткова І. В. Біологічна активність гумінових кислот: Взаємозв'язок структура – властивості. *Зб. наук. праць наук.-практ. конф. проф.-викл. складу Полтавської державної аграрної академії за підсумками науково-дослідної роботи в 2020 році* (м. Полтава, 14 травня 2021 року). Полтава : РВВ ПДАА, 2021. С. 144–147.

пигментної системи, активністю дегідраз [487]. Саме тому нами був обраний сорт пшениці озимої Смуглянка, який за сприятливих погодних умов може дати врожаї до 8,9 т/га [488]. Оригінаторами сорту є Інститут фізіології рослин і генетики НААН України та Миронівський інститут пшениці ім. В. М. Ремесла НААН України. В Реєстрі сортів рослин України сорт Смуглянка зареєстрований з 2004 року. Зона його вирощування – Полісся, Лісостеп та Степ України.

Сорт Смуглянка належить до сильних пшениць, зернового напрямку використання. До основних характеристик слід віднести: середню морозостійкість, підвищену засухостійкість, стійкість до борошнистої роси і бурі іржі.

Рослина пшениці сорту Смуглянка має відносно коротке стебло (86–96 см), відрізняється високою кустистістю, кущ напівпрямостоячий, колос довгий (10–12 см), середньої щільності, веретеноподібної форми, білого з шоколадним відтінком кольору, з помірним восковим нальотом; зернівка червоного кольору, подовжена, середня по ширині, велика, маса 1000 насінин складає від 37,6 до 46,8 грам. Сорт належить до середньоранніх, період вегетації 278–281 день, високостійкий до вилягання.

Корисна варіативність важливих рис в сучасних українських сортах озимої пшениці виявляється і в різних реакціях на умови різноманітного рельєфу, навіть до типу рельєфу, що необхідно враховувати в технологіях вирощування задля отримання високих врожаїв. Автори дослідження [489] оцінили співвідношення між умовами рельєфу, умовами зростання та вмістом мікроелементів (азот, фосфор, калій) у зерні озимої пшениці різних сортів, у тому числі й сорту Смуглянка. На прикладі семи українських сортів озимої пшениці показано, що тип рельєфу впливає на ефективність засвоєння рослинами пшениці поживних елементів з ґрунту, що, в свою чергу, пов'язано з їх урожайністю. Так, вирощування пшениці озимої сорту Смуглянка на ґрунтових ділянках, розташованих на рівнині, північному та південному схилах, показало, що рівень засвоєння азоту з ґрунту майже однаковий і становить 66–67 %, в той час як коефіцієнт використання фосфору з ґрунту рослинами на північному схилі майже на 65,8 % більше відносно рівнини і на 49,2 % порівняно з південним схилом. Поглинання рослинами пшениці північного схилу калію також на 10,8 % більше відносно рівнини, але на 6,3 % менше, ніж на південному схилі. В цілому, коефіцієнт використання елементів живлення з ґрунту рослинами пшениці сорту Смуглянка на схилі північної експозиції визнано найвищим [489]. Ефективне використання елементів живлення з ґрунту корелює з об'ємами отриманого врожаю. Так,

⁴⁸⁷ Крижанівський В. Г. Адаптаційна здатність сортів озимої пшениці та формування якісних властивостей зерна різного еколого-географічного походження. *Корми та кормове виробництво*. 2020. Т. 90. Р. 98–105.

⁴⁸⁸ Орлюк А. П., Гончарова К. О. Озима пшениця Херсонська безоста. *Пропозиція*. 2018. № 10. С. 48–56.

⁴⁸⁹ Назаренко М., Лихолат Ю. Вплив умов рельєфу на ріст і розвиток рослин. *Журнал геології, географії та геоecології*. 2018. Т. 26. № 1. С. 143–149.

урожайність пшениці озимої сорту Смуглянка на рівнині становила 5,9 т/га, на схилі північної експозиції – 6,0 т/га. Найменший об'єм врожаю отримали з ділянок схилу південної експозиції – 4,0 т/га.

Таким чином, північна експозиція в умовах схилу створює озимій пшениці сорту Смуглянка більш кращі умови для росту і розвитку, ніж на рівнині, тому даний рельєф рекомендовано для вирощування сорту Смуглянка як по врожайності зерна, так і за вмістом білка в зерні і білковим складом [489].

Важливим елементом технологій вирощування пшениці озимої є запобігання її вилягання, яке значно знижує продуктивність та якість зерна. За внесення азотних добрив, особливо у поєднанні з перезволоженням і низькою інсоляцією, стебло пшениці може витягуватися та втрачати міцність. Посіви вилягають також при засміченні в'юнкими бур'янами й ушкодженні стебел і коренів грибами. У зв'язку з цим, важливою умовою вирощування високих урожаїв пшениці озимої є обробка посівів ретардантами, у тому числі й короткостеблових сортів, до яких належить обраний нами сорт Смуглянка.

У свій час, саме створення короткостеблових сортів пшениці певною мірою зменшило процес вилягання, але це не вирішило проблеми в цілому [490, 491]. Саме тому, вже понад 70 років при вирощуванні зернових використовуються ретарданти. Їх основне призначення – зміна важливих процесів структурного росту рослини модифікацією балансу гормонів, що сприяє підвищенню продуктивності [492, 493]. Ретарданти здатні зменшити лінійне зростання рослин пшениці майже на 35 %.

Одними з представників ретардантів є ацилциклогексادیони, які інгібують переважно 3β -гідроксилювання й утворення високоактивних гіберелінів з неактивних похідних. Застосування даних сполук сприяє розвитку кореневої системи пшениці, в результаті чого підвищується ефективність використання вологи та елементів живлення. Ацилциклогексادیони зменшують подовження клітин, блокують біосинтез гіберелової кислоти, запобігають вилягання не лише внаслідок зменшення висоти стебла, а й унаслідок зміцнення його структур [494]. Своєчасне застосування ретардантів може сприяти підвищенню врожайності пшениці внаслідок перерозподілу сухої речовини й за помірних рівнів вилягання [495].

⁴⁹⁰ Berry P., Berry S. Understanding the genetic control of lodging-associated plant characters in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*. 2015. Vol. 205. P. 671–689.

⁴⁹¹ Koch F., Aisenberg G., Monteiro M., et al. Growth of wheat plants submitted to the application of the growth regulator trinexapac-ethyl and vigor of the produced seeds. *Agrociencia*. 2017. Vol. 21. P. 24–32.

⁴⁹² Cai T., Meng X., Liu X., et al. Exogenous hormonal application regulates the occurrence of wheat tillers by changing endogenous hormones. *Front Plant Sci*. 2018. Vol. 9. P. 1886.

⁴⁹³ Mariani L., Ferrante A. Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses-drought, salinity, hypoxia, and lodging. *Horticulturae*. 2017. Vol. 3. P. 52.

⁴⁹⁴ Matysiak K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. *J Plant Protect Research*. 2006. Vol. 46. P. 133–143.

⁴⁹⁵ Shekoofa A., Emam Y. Effects of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Shiraz. *J Agric Sci Technol*. 2008. Vol. 10. P. 101–108.

Результатом морфологічних змін архітектури рослин є збільшення врожайності зернових культур [496, 497], які більше пристосовуються до мінливих умов навколишнього середовища й ефективніше використовують ресурси довкілля, наприклад, сонячне випромінювання, що сприяє накопиченню фотосинтетичних пігментів. У дослідженні [498] показано, що показники фотосинтетичної діяльності корелюють із зерною продуктивністю рослин. У роботі [499] відображено взаємозв'язок між рівнем хлорофілу у листках рослин пшениці озимої сорту Смуглянка та врожайністю за сумісного застосування ретарданту Медакс топ, комплексу макро- та мікроелементів Мегафол (Valagro, Італія) і мінерального добрива N120P80K120. Встановлено, що вміст хлорофілу в листках рослин на контрольних ділянках виявився на 4 % меншим порівняно з рослинами, де застосовували представлені інгібітори росту рослин у поєднанні з добривами. Приріст урожайності внаслідок комплексного живлення посівів також становив 4,3 %. Аналогічну кореляцію спостерігали автори дослідження [500] при вирощуванні ячменя ярого. Збільшення вмісту хлорофілу в листі ячменю на 13,5 % супроводжувалось приростом врожайності на 12,7 %.

Важливим чинником зниження врожайності пшениці озимої також є збіднення ґрунтів на елементи живлення внаслідок недостатнього внесення мінеральних та органічних добрив та невдалого використання попередників (до 25 % посівів пшениці озимої розміщують після стерньових попередників, навіть після соняшнику) [501]. За недостатнього азотного живлення зменшується інтенсивність кущення, посилюється редукція потенційно продуктивних пагонів – все це призводить до зниження врожайності [502 , 503]. При застосуванні мінеральних добрив особливу увагу звертають на азотне живлення, створюючи такі умови, щоб рослини пшениці озимої були забезпечені азотом впродовж усієї вегетації в достатній кількості.

⁴⁹⁶ Siddique K., Chen Y., Rengel Z. Efficient root system for abiotic stress tolerance in crops. *Procedia Environ Sci.* 2015. Vol. 29. P. 295.

⁴⁹⁷ Wang D., Ding W., Feng S., et al. Stem characteristics of different wheat varieties and its relationship with lodging-resistance. *J Appl Ecol.* 2016. Vol. 27. P. 1496–1502.

⁴⁹⁸ Прядкина Г. О., Швартау В. В. Михальська Л. М. Потужність фотосинтетичного апарату, зернова продуктивність та якість зерна інтенсивних сортів м'якої пшениці за різного рівня мінерального живлення. *Физиология и биохимия культурных растений.* 2011. Т. 43. № 2. С. 158–163.

⁴⁹⁹ Михальська Л. М., Маковейчук Т. І., Швартау В. В. Застосування добрива мегафон і ретардантів класу ацилциклогексادیонів на посівах пшениці озимої. *Физиология растений и генетика.* 2019. Т. 51. № 6. С. 541–548.

⁵⁰⁰ O'Donovan J. T., Anbessa Y., Grant C.A., et al. Relative responses of new malting barley cultivars to increasing nitrogen rates in western Canada. *Can J Plant Sci.* 2015. Vol. 95. P. 831–839.

⁵⁰¹ Олійник К. М., Давидюк Г. В. Продуктивність і якість зерна пшениці озимої за різних технологій вирощування. *Технології вирощування сільськогосподарських культур.* 2017. № 85. С. 74–78.

⁵⁰² Бабич Ю. В. Строки сівби на продуктивність озимої пшениці по чорному пару. *Хранение и переработка зерна.* 2015. № 9. С. 24–26.

⁵⁰³ Ткачек С. П., Каленська С. М. и др. Загальні особливості вирощування озимої пшениці. *Агроном.* 2008. № 3. С. 22–27.

Як показано в ряді досліджень [504, 505, 506] значний вплив на урожайність зернових надає не лише внесення чистих азотних добрив, а і сумішей, що містять NPK і гумінові речовини [507, 508]. Збільшення врожайності пшениці озимої на 20–23 % було отримано за одночасного використання гумінових препаратів 5R SoilBoost і 4R Foliar concentrate в суміші з аміачною селітрою, а використання сумішей гуматів 5R SoilBoost і 4R Foliar concentrate з карбамідно-аміачною сумішшю в різні фази розвитку пшениці озимої сприяло збільшенню врожайності на 8,0–21,4 % [506].

В роботі [509] показано, що поєднання добрив, що містять гумінові кислоти, NPK, цинк, сірку і марганець в технології вирощування пшениці озимої значно вплинуло на врожайність, приріст якої становив 48,6 %. Автори роботи [456] повідомили, що комбіноване застосування органічних і мінеральних добрив у поєднанні з гуміновими речовинами збільшило врожайність зерна пшениці на 27 %. Навіть застосування гуматів в чистому вигляді призводить до збільшення врожайності зерна на 6,52–7,52 % [510, 511].

В результаті сумісного застосування азотних добрив і гумінових стимуляторів автори роботи [512] відзначили покращення показників структури й якості врожаю пшениці озимої, зокрема збільшення кількості зернин в колосі та їхньої маси, підвищення вмісту білків і клейковини.

В чому причина такої ефективності сумішей гумінових речовин і мінеральних добрив? Автори досліджень [513, 514] встановили, що взаємодія гумінових речовин з мінеральними компонентами здійснюється здебільшого за рахунок карбоксильних і гідроксильних функціональних груп, що сприяє утворенню гетерополярних комплексів мінеральний компонент (N, P, K) – гуміновий фрагмент, де сполуки N, P, K виступають у ролі комплексоутворювача, а молекули гумінових кислот – в ролі ліганда.

⁵⁰⁴ Horobets M., Chaika T., Korotkova I. et al. Influence of growth stimulants on photosynthetic activity of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) crops. *International Journal of Botany Studies*. 2021. Vol. 6, Issue 2. P. 340–345.

⁵⁰⁵ Короткова І. В., Горобець М. В., Чайка Т. О. Вплив стимуляторів росту на продуктивність сортів ячменю ярого. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 20–30. doi: 10.31210/visnyk2021.02.02

⁵⁰⁶ Marenych M. M., Kaminsky V. F., Bulygin C. Yu., Hanhur V. V., Korotkova I. V., et al. Optimization of factors of managing productive processes of winter wheat in the Forest-Steppe. *Agricultural Science and Practice*. 2020. Vol. 7, Issue 2. P. 44–54.

⁵⁰⁷ Ahmad T., Khan R., Khattak T.N. Effect of humic acid and fulvic acid based liquid and foliar fertilizers on the yield of wheat crop. *Journal of Plant Nutrition*. 2018. doi: 10.1080/01904167.2018.1527932

⁵⁰⁸ De Oliveira K. S., Mendes M. C., Gustavo Arruda Ilibrante G. A., et al. Export of N, P and K in barley subjected to fertilizer doses formulated with and without humic substance at sowing. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2019. V. 41. e42690.

⁵⁰⁹ Jindo K., Olivares F. L., Malcher D. J. P., Sánchez-Monedero M. A., Kempenaar C., Canellas L. P. From Lab to Field: Role of Humic Substances Under Open-Field and Greenhouse Conditions as Biostimulant and Biocontrol Agent. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 426.

⁵¹⁰ Маренич М. М. Ефективність способів застосування гумінових стимуляторів в технології вирощування пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 3. С. 26–34.

⁵¹¹ Daur I. Comparative study of farm yard manure and humic acid in integration with inorganic-N on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth and yield. *Tarim bilimleri dergisi-journal of agricultural sciences*. 2013. Vol. 19, Issue 3. P. 170–177.

⁵¹² Gamayunova V. V., Panfilova A. V., Averchev O. V. Winter wheat productivity depending on the cultivation technology elements in the Southern Steppe of Ukraine. *Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sci*. 2018. Vol. 103. P. 16–22.

⁵¹³ Muscolo A., Sidari M., Nardi S. Humic substance: Relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*. 2013. Vol. 129. P. 57–63. doi: 10.1016/j.gexplo.2012.10.012

⁵¹⁴ Dudare D., Klavins M. Complex-forming properties of peat humic acids from a raised bog profiles. *Journal of Geochemical Exploration*. 2013. Vol. 129. P. 18–22. doi: 10.1016/j.gexplo.2012.12.001

Такі гетерополярні комплекси впливають на рослини двома шляхами: безпосередньо через листову поверхню, кореневу систему та через підвищення біологічної активності ґрунту. Вплив таких сумішей на рослини носить складний багатоступінчатий характер і охоплює весь період вегетації. Потрапляючи в рослини через покривну целюлозну оболонку корневих волосків, компоненти сумішей активізують ферментативну активність усіх клітин рослини й утворення стимулюючих сполук самою рослиною. Як підсумок – зростання енергетики клітини, зміна фізико-хімічних властивостей протоплазми, інтенсифікація обміну речовин клітини, збільшення проникності мембрани клітин кореня. У кореневій системі відбувається синтез органічних речовин – амінокислот, цукрів, вітамінів тощо. Оброблення такими сумішами підсилює синтез всіх цих сполук. Частина речовин, синтезованих у корінні та рослині в цілому, через коріння виділяється в ґрунт. Чим інтенсивніший обмін речовин у рослині та потужніше коріння, тим більше корневих виділень. Кислоти, що виділяються корінням (вугільна, яблучна тощо), активно впливають на розчинення важкодоступних речовин у ґрунтах.

За внесення сумішей позакоренево, шляхом обприскування поверхні листя, перешкодою для засвоєння гумінових кислот рослиною є кутикула. В багатьох рослин кутикула зовнішньої поверхні листка представлена у вигляді переривчастих лусок, які розміщені паралельно зовнішнім стінкам епідермісу, від якого проходять канали, заповнені пектиновими речовинами, які можуть бути «каналами» для проникнення водних розчинів. Інша можливість надходження гумінових кислот через листя обумовлена наявністю продихів та проникнення через міжклітинні прошарки мезофілу.

Через листову поверхню, як правило, проникають низькомолекулярні гумінові сполуки зі швидкістю 2–10 мм/добу. Проникнення ж високомолекулярних гумінових речовин через мембрани клітини відбувається за допомогою розпаду великих молекул на фрагменти з поетапним транспортуванням через мембрани в цитоплазму клітини, де вони включаються в процеси обміну речовин [515]

Щодо проникнення гумінових кислот безпосередньо в клітину, то тривалий час існувала гіпотеза, яка була запропонована Христевою Л. А. [516]. Сутність даної гіпотези у тому, що гумінові кислоти надходять в рослину в іонно-дисперсному стані та приймають участь в обміні речовин, досягаючи важливих органел клітини – ядер, мітохондрій, хлоропластів і, на відповідних етапах розвитку, виконують функцію оксигеназ; включають в обмін речовин додаткову кількість кисню, і, таким чином,

⁵¹⁵ Демин В. В., Бирюков М. В., Семенов А. А., Завгородняя Ю. А. Природа биологического действия гуминовых веществ. Часть 2. Локализация биопротекторного действия гуминовых веществ в почвах: доклады по экологическому почвоведению. 2006. № 1. С. 80–91.

⁵¹⁶ Христева Л. А., Реутов Н. В., Старостин А. Н. Влияние гуминовых кислот на биоэлектрический потенциал у растений. Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Ч. III. Киев, 1968. С. 28–30.

посилюють окисдаивний обмін, що в свою чергу підвищує енергетичний потенціал і всю життєдіяльність організму.

Таким чином, встановлено основні чинники, які переважно визначають продуктивність пшениці озимої і які, в першу чергу, необхідно враховувати при плануванні дослідження. Розглянуті та проаналізовані механізми дії та шляхи потрапляння гумінових речовин в рослину, які зумовлюють біологічну активність цих сполук.

4. Дослідження впливу гумінових препаратів та їх сумішей з мінеральними добривами на біометричні й морфометричні показники рослин пшениці озимої в умовах закритого ґрунту

На сьогодні відома велика кількість різноманітних стимуляторів росту, які широко використовуються в рослинництві, але в даній роботі ми обрали один із препаратів, які виробляються американською компанією «SoilBiotics» – це гуматне добриво 5R SoilBoost EA. Унікальність даного препарату полягає в тому, що він містить 84,17 % гумінової кислоти, найбільший відсоток серед усіх продуктів «SoilBiotics», є гранульованим продуктом, який можна змішувати з мінеральними добривами та використовувати у чистому вигляді, препарат засвоюється у будь-якому ґрунті з опадами [517].

Схема досліду передбачала такі варіанти удобрення ґрунту:

Варіант 1: Контроль.

Варіант 2: Аміачна селітра (розчин, 0,025 моль/л).

Варіант 3: 5R Soil Boost EA (гранули, 0,05 г/100 г ґрунту).

Варіант 4: Суміш аміачної селітри і 5R Soil Boost EA (1:1).

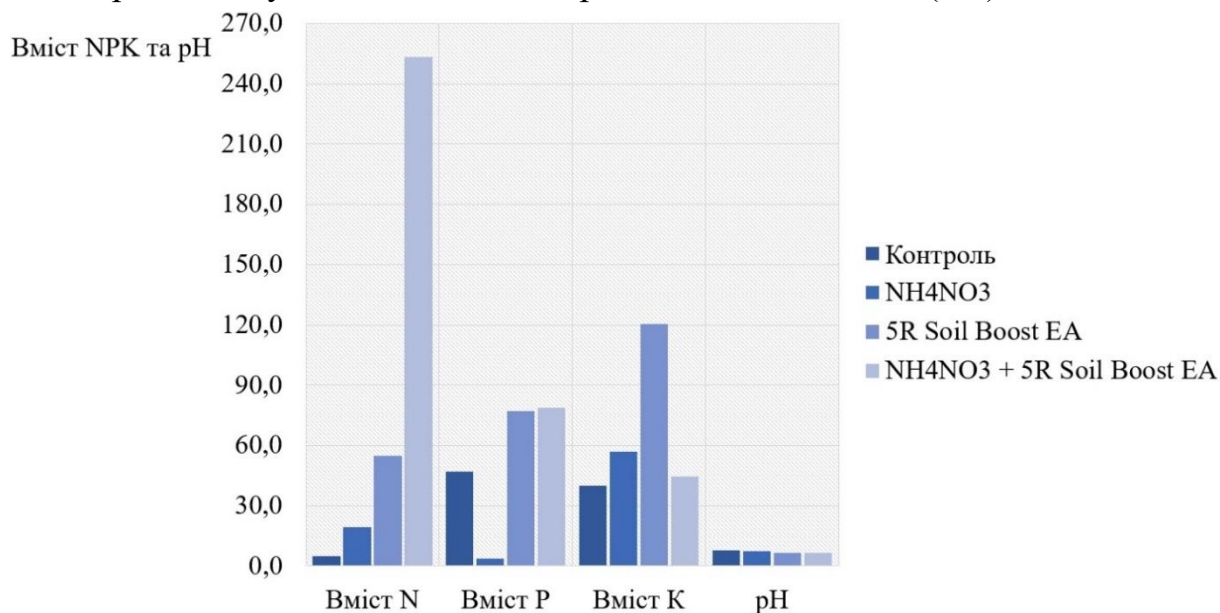


Рис. 4. Результати тестування ґрунту дослідних субстратів на вміст N, P, K, г/м³ та рівень pH

Джерело: авторські дослідження.

⁵¹⁷ Тодд З., Маренич М. М., Гангур В. В., Юрченко С. О., Тараненко С. В. Теоретичні та практичні аспекти застосування продуктів SoilBiotics в технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Полтава : ПДАА. 40 с.

Після внесення добрив було визначено вміст основних елементів живлення (азоту, фосфору та калію) та показник рН у ґрунтовому субстраті (рис. 4). Визначення вмісту поживних речовин (N, P, K) у ґрунті дослідних зразків виконували за допомогою Набору N-P-K тестів для ґрунту LaMotte SOIL NPK KIT.

У підготовлений за вказаними варіантами ґрунт у пластикових лотках висівали насіння пшениці озимої сорту Смуглянка (50 насінин в кожному варіанті) і пророщували в теплиці при температурі повітря 18 ± 2 °C, при відносній вологості повітря 85–90 % протягом 14 днів.

4.1. Визначення біометричних і морфометричних показників рослин пшениці озимої

Як відомо, гумінові речовини регулюють декілька фізіологічних процесів рослин, включаючи проростання насіння та генезис коренів [518, 519], однак, не зовсім зрозуміло, які саме структурні особливості цих речовин відповідають за їх специфічну стимулюючу дію на рослини. Дослідженням процесів проростання насіння кількох видів рослин, таких як кукурудза [520] та рис [521], була доведена стимулююча дія гумінових речовин, якими обробляли насіння. Основним фактором, що сприяє прискоренню проростання насіння, вважають наявність фенольних фрагментів у структурі гумінових сполук [520]. Однак, низькомолекулярні феноли, такі як пара-кумарова кислота і пара-гідроксибензойна кислота, які поширені в ґрунтах, виявляють сильну інгібуючу дію на проростання насіння, перешкоджаючи гліколізу й окислювальному пентозофосфатному шляху [522], тоді як полімеризовані феноли, які структурно подібні до гумінових сполук, здатні стимулювати проростання насіння [523]. Ці контрастні властивості залежать від ступеня полімеризації, тому припускають, що молекулярні маси гумінових сполук критично впливають на ступінь інгібування ферментів на основі фенолу.

В проведеному нами дослідженні, через 4 доби від початку експерименту визначали енергію проростання, а через 8 діб – відсоток схожості насіння згідно [524] (рис. 5), оскільки це найбільш важливі показники якості насіння. Енергія проростання – показник, що

⁵¹⁸ Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 2002. Vol. 34. P. 1527–1536.

⁵¹⁹ Shah Z., Rehman H. M., Akhtar T., et al. Humic substances: Determining potential molecular regulatory processes in plants. *Front. Plant. Sci.* 2018. Vol. 9. P. 263.

⁵²⁰ Bento L. R., Melo C. A., Ferreira O. P., et al. Humic extracts of hydrochar and Amazonian Dark Earth: Molecular characteristics and effects on maize seed germination. *Sci. Total. Environ.* 2020. Vol. 708. 135000.

⁵²¹ Tang Y., Hou S., Yang Y., et al. Activation of humic acid in lignite using molybdate-phosphorus hierarchical hollow nanosphere catalyst oxidation: Molecular characterization and rice seed germination-promoting performances. *J. Agric. Food Chem.* 2020. Vol. 68. P. 13620–13631.

⁵²² Muscolo A., Panuccio M. R., Sidari M. The effect of phenols on respiratory enzymes in seed germination. *Plant. Growth Regul.* 2001. Vol. 35. P. 31–35.

⁵²³ Cha J. Y., Kim T. W., Choi J. H., et al. Fungal laccase-catalyzed oxidation of naturally occurring phenols for enhanced germination and salt tolerance of *Arabidopsis thaliana*: A green route for synthesizing humic-like fertilizers. *J. Agric. Food Chem.* 2017. Vol. 65. P. 1167–1177.

⁵²⁴ ДСТУ-4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.

характеризує швидкість проростання насіння. Схожість насіння – це відношення кількості пророслих насінин до кількості висіяних, що визначається в лабораторних умовах і виражається у відсотках. Швидке лабораторне проростання насіння свідчить про те, що проростки будуть міцними та стійкими до несприятливих умов навколишнього середовища в період сівби в польових умовах, а насіння з високою енергією проростання дасть дружні та рівномірні сходи в польових умовах [525]. Отримані результати представлені в таблиці 2.



Рис. 5. Визначення схожості насіння пшениці сорту Смуґлянка за різних варіантів удобрення ґрунту

Джерело: авторські дослідження.

Можна припустити, що і розвиток коренів, ймовірно, буде посилений у рослин, оброблених гуміновими препаратами або їх сумішами, а за рахунок селективності протоплазматичних мембран буде інтенсифікуватись надходження води і елементів живлення.

В присутності гумінових речовин також сильно посилюється проліферація бічних коренів [526, 527]. Існують три механізми, які пояснюють стимуляцію коренів. По-перше, гормоноподібні органічні структури, такі як ауксин, активують специфічні гормональні шляхи в рослинах [526]. Але є інші експерименти, автори яких припускають, що важливішим є загальний розподіл специфічних органічних функціональних груп, включаючи феноли та карбонові кислоти, в молекулах гумінових речовин [523]. Точніше, структурні характеристики, які відповідають за утворення коренів та їх зростання є різними. Як

⁵²⁵ Семенов А. О., Короткова І. В., Сахно Т. В., Маренич М. М. Використання агрономічного потенціалу УФ-С випромінювання для підвищення передпосівних якостей насіння моркви. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 1. С. 47–52.

⁵²⁶ Canellas L. P., Olivares F. L., Okorokova-Facanha A. L., Facanha A. R. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant. Physiol.* 2002. Vol. 130. P. 1951–1957.

⁵²⁷ Zandonadi D. B., Santos M. P., Dobbss L. B., et al. Nitric oxide mediates humic acid-induced root development and plasma membrane H⁺-ATPase activation. *Planta*. 2010. Vol. 231. P. 1025–1036.

повідомляють у дослідженні [528] лабільні та функціональні органічні групи беруть участь у генезісі коренів, тоді як менш функціональні фрагменти гумінових кислот індукують подовження коренів.

Нещодавно повідомлялося про структурні фрагменти гумінових сполук, що стимулюють лише подовження коренів. Було доведено, що аліфатичний -ОН лігніну має вирішальне значення для стимулювання розвитку сходів кукурудзи залишаючи без змін швидкість проростання [529]. По-друге, у присутності гумінових сполук утворюється оксид азоту, який стимулює подальший розвиток бічного кореня. Той факт, що поглиначі оксиду азоту, а не інгібітори ауксину, ефективно перешкоджають розвитку коренів, зумовлених гуміновими сполуками вказує на те, що гумінові кислоти активують ауксин-незалежні шляхи [530]. По-третє, за рахунок збільшення експресії споріднених білків посилюється енергетичний метаболізм [527]. Таким чином, полегшення отримання енергії може бути пов'язане з проліферацією клітин кореня. Останні два способи дії припускають, що ключові біологічні фактори (наприклад, оксид азоту й енергетичний обмін білків) є необхідними для зміни генезису коренів, хоча ідентифікація ключових структурних частин гумінових сполук для активації таких факторів остаточно ще не досліджена.

Після 14 днів експерименту були виконані біометричні вимірювання – визначені основні параметри росту: середня довжина коренів і висота пагонів. Середню довжину коренів і висоту пагонів вимірювали з точністю до 0,1 см. Біометричні вимірювання були виконані в 3-х кратній повторності для відібраних 10 насінин в тому ж фізіологічному віці (таблиця 2).

Морфометричні визначення біомаси надземної частини рослин пшениці проводили шляхом зважування паростка після вилучення його з ґрунту, промивання від залишків ґрунту та просушування на фільтрувальному папері на терезах лабораторних ТВЕ-021-0,001 (таблиця 2). Точність зважування $\pm 0,001$.

2. Вплив варіантів удобрення ґрунту на посівні властивості насіння та біометричні показники рослин пшениці озимої сорту Смуглянка

Варіант досліду	Енергія проростання, %	Схожість, %	Довжина коренів, см	Висота пагонів, см	Біомаса, г
Контроль	94,6	95,1	2,5	8,5	0,200
NH ₄ NO ₃	95,2	96,4	2,2	9,7	0,221
5R SoilBoost EA	96,3	97,7	3,8	9,1	0,247
NH ₄ NO ₃ + 5R Soil Boost EA	98,4	99,2	4,4	10,2	0,313

Джерело: авторські дослідження.

⁵²⁸ Garcia A. C., de Souza L. G., Pereira M. G., et al. Structureproperty-function relationship in humic substances to explain the biological activity in plants. *Sci. Rep.* 2016. Vol. 6. P. 1–10.

⁵²⁹ Savy D., Cozzolino V., Vinci G., Nebbioso A., Piccolo A. Water-soluble lignins from different bioenergy crops stimulate the early development of Maize (*Zea mays*, L.). *Molecules*. 2015. Vol. 20. P. 19958–19970.

⁵³⁰ Nunes R. O., Domiciano G. A., Alves W. S., et al. Evaluation of the effects of humic acids on maize root architecture by label-free proteomics analysis. *Sci. Rep.* 2019. Vol. 9. 12019.

Як видно з наведених у таблиці 2 даних, застосування гумінового препарату 5R SoilBoost EA як у чистому вигляді, так і в складі суміші з аміачною селітрою, шляхом внесення в тепличні субстрати перед висіванням насіння пшениці, продемонструвало позитивний ефект. Найкращий результат було отримано у разі використання суміші добрив NH_4NO_3 + 5R SoilBoost EA. Так, збільшення енергії проростання в цьому варіанті становило 3,8 %, а схожості – 4,1 % порівняно з контролем. Внесення в ґрунт аміачної селітри також сприяло збільшенню енергії проростання та схожості насіння пшениці, але істотно нижче, ніж при використанні чистого гуматного добрива 5R SoilBoost EA, внаслідок використання якого енергія проростання зросла на 1,7 %, а схожість насіння на 2,6 %.

Представлені в таблиці 2 дані свідчать також про помітну тенденцію зростання таких показників початкового розвитку рослин, як довжина кореневої системи та висота пагону. Так, довжина кореня збільшилась на 52 % при додаванні 5R SoilBoost EA і на 76 % при сумісному внесенні NH_4NO_3 + 5R SoilBoost EA. Отримані результати добре корелюють з даними роботи [456], де автори спостерігали збільшення сумарної довжини кореневої системи на 37–74 % внаслідок додавання гумінових препаратів. Слід відмітити, незначне (12 %) зменшення відносно контролю довжини кореня у пагонів, які зростали на ґрунті, удобреному NH_4NO_3 , але висота надземної частини у цих рослин виявилась більшою на 14 % порівняно з контролем і на 6,6 % відносно рослин, що зростали на ґрунті, удобреному чистим гуміновим добривом 5R SoilBoost EA. Максимальний ефект спостерігали у рослин, які зростали на ґрунті, де застосовували суміш NH_4NO_3 + 5R SoilBoost EA, висота пагонів яких перевищувала контроль майже на 20 %. Отримані біометричні показники добре узгоджуються з величинами енергії проростання та схожості насіння, ґрунт для яких удобрювали також зазначеною сумішшю.

Питання про вплив збільшення біомаси надземної частини рослин на ранніх етапах весняної вегетації на зростання врожайності активно дискутується в літературі. Зокрема, вважають, що воно може бути пов'язане з кращою роботою фотосинтетичного апарату рослин з високою біомасою. В наших експериментах збільшення біомаси спостерігалось за всіма варіантами удобрення ґрунту, на яких зростали паростки пшениці. Найкращі морфометричні показники були зафіксовані у рослин, де в ґрунт, перед висіванням насіння, вносили як чистий гуміновий препарат 5R SoilBoost EA, так і його суміш з NH_4NO_3 . Збільшення біомаси таких рослин порівняно з контролем становило 23,5 і 56,5 %, відповідно.

4.2. Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах пшениці озимої

Приготування витяжки пігментів. Через 14 днів, після того як сформувалась потужна зелена маса рослин, зрізали декілька зелених листків без видимих пошкоджень для отримання гомогенату. Наважка

рослинного матеріалу дорівнювала 500 мг. Після зважування, листя рослин подрібнили, перенесли у порцелянову ступку, додали 10 см³ 96 % етилового спирту та невелику кількість кварцового піску для кращого подрібнення рослинної тканини. Потім гомогенат перенесли кількісно і профільтрували через паперовий фільтр з білою стрічкою у мірну колбу на 25 см³, довели об'єм колби до мітки етиловим спиртом.

Вимірювання оптичної щільності. Традиційні методи визначення вмісту фотосинтетичних пігментів включають процедуру екстракції розчинником з наступним спектрофотометричним визначенням «in vitro», що дозволяє без калібрувальних кривих на підставі експериментальних даних за оптичною щільністю відомих для кожного пігменту величин молярного або питомого коефіцієнту світлопоглинання при певній довжині хвилі розрахувати концентрацію пігментів.

Вміст хлорофілів **a** і **b** та каротиноїдів визначали в отриманій витяжці пігментів без попереднього їх розділення. Оптичну щільність екстракту визначала на фотометрі КФК-3 при довжинах хвиль (нм), що відповідають максимумам поглинання хлорофілів **a** і **b** та каротиноїдів: хлорофіл **a** – 665 нм, хлорофіл **b** – 649 нм, каротиноїди – 470 нм. Спектральний діапазон вимірювань КФК-3: 315-990 нм. Спектральний інтервал, що виділяється монохроматором фотометра не більше 7 нм. Похибка вимірювань оптичної щільності 0–3 %.

Розрахунок вмісту пігментів в етанольних екстрактах виконували за формулами [531]:

$$\begin{aligned}C_{\text{хл } a} &= [(13,95D_{665} - 6,88D_{649}) \cdot V] / m, \\C_{\text{хл } b} &= [(24,96D_{649} - 7,32D_{665}) \cdot V] / m, \\C_{\text{кар}} &= [1000D_{470} \cdot V / m - 2,05C_{\text{хл } a} - 114,8C_{\text{хл } b}] / 245,\end{aligned}$$

де $C_{\text{хл } a}$, $C_{\text{хл } b}$, $C_{\text{кар}}$ – кількість хлорофілів **a**, **b** і каротиноїдів у мг/г сирової речовини;

D_{665} , D_{649} и D_{470} – оптична щільність спиртового екстракту пігментів при довжинах хвиль (нм) відповідно 665, 649 та 470;

M – маса наважки, мг;

V – об'єм етанолу, см³.

Отримані результати представлені на рис. 6.

Як відомо, фотосинтетична діяльність зернових культур є основою їх продуктивності й значною мірою залежить від вмісту пігментів у рослинах. Особливе значення мають зелені пігменти, хлорофіли **a** і **b** – чутливі індикатори фізіологічного стану рослин, кількість яких є показником потенційної здатності рослин формувати біологічний урожай [532]. Згідно з результатами наших досліджень, застосування гумінового

⁵³¹ Wellburn A. R. The spectral determination of chlorophylls a, and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. Vol. 144. P. 307–313.

⁵³² Мальцева Н. М., Гаєвський А. П., Дерев'янка К. Ю. Вплив біологічно активних речовин та їх композицій на вміст фотосинтетичних пігментів у листках озимої пшениці в умовах дефіциту фосфору. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43, № 5. С. 403–411.

препарату 5R SoilBoost EA як окремо, так і в суміші з азотним добривом шляхом внесення в ґрунт зумовило певні зміни у пігментному складі рослин озимої пшениці, вирощених на таких субстратах.

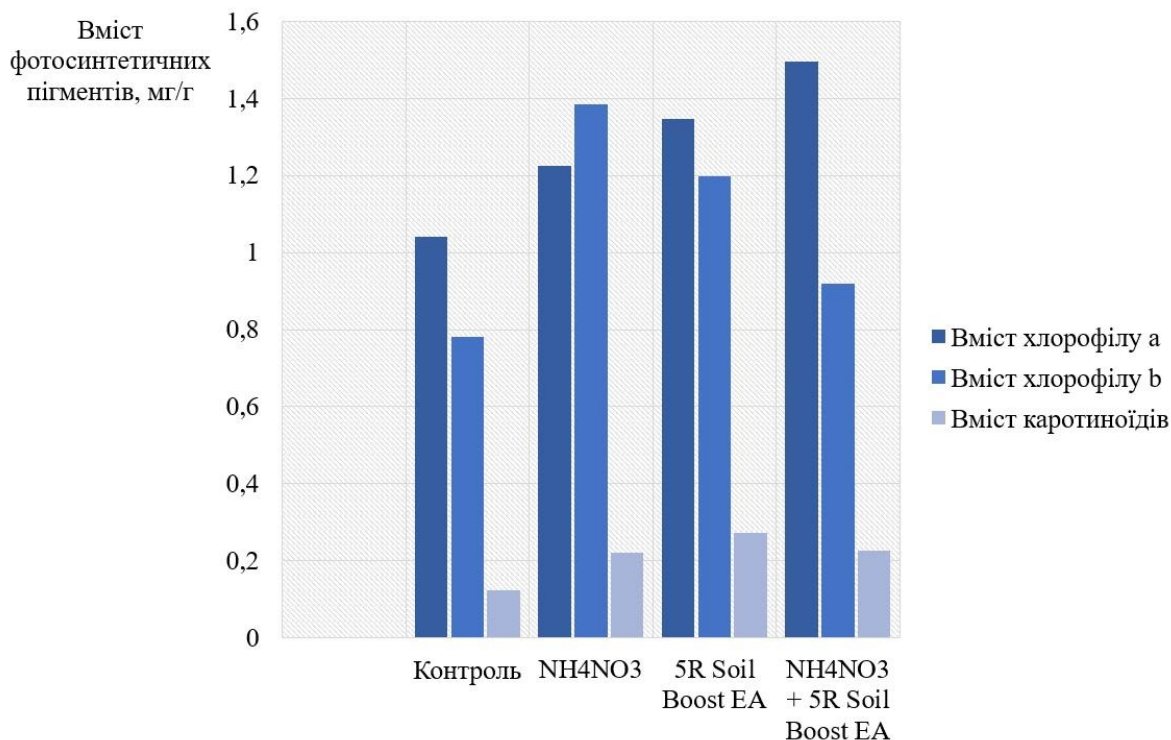


Рис. 6. Вміст фотосинтетичних пігментів в рослинах пшениці озимої сорту Смуглянка залежно від варіанту удобрення ґрунту, мг/г сировини

Джерело: авторські дослідження.

Гумінові речовини можуть здійснювати пряму та побічну дію на фотосинтетичні процеси в рослинах. Пряма – обумовлена активізацією протонної помпи хлоропластів, побічна – проявляється в зростанні розміру фотосинтетичних одиниць фотосистеми та кількості її реакційних центрів на одиницю площі листка, що пов'язано з впливом гумінових речовин на білоксинтезуючу систему. Обидва шляхи ведуть до збільшення асиміляції вуглекислого газу, фотосинтетичної продуктивності, і, в кінцевому результаті, до приросту врожаю. Авторами ряду досліджень [533, 534] було підтверджено, що гумінові речовини можуть бути ефективними екзогенними регуляторами фотосинтетичних процесів.

Майже у всіх варіантах наших дослідів збільшився вміст хлорофілів **a** і **b** та каротиноїдів відносно контролю, що засвідчує про створення сприятливіших умов життєдіяльності рослин, однак співвідношення між вмістом цих пігментів у кожному варіанті різне.

⁵³³ Van Tol de Castro T. A., Berbara R. L. L., Tavares O. C. H., et al. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 162. P. 171–184. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.02.043

⁵³⁴ Lofti R., Kalaji H. M., Valizadeh G. R., et al. Effects of humic acid on photosynthetic efficiency of rapeseed plants growing under different watering conditions. *Photosynthetica*. 2018. Vol. 56, Issue 3. P. 962–970. doi: 10.1007/s11099-017-0745-9

Максимальне збільшення вмісту хлорофілу *a* (43,6 %) та каротиноїдів (в 1,5 рази) спостерігалось при сумісному внесенню в ґрунт $\text{NH}_4\text{NO}_3 + 5\text{R SoilBoost EA}$. Отримані результати можна пояснити підвищеним вмістом нітрогену та фосфору у ґрунті (рис. 4), що сприяли інтенсивній роботі фотосинтетичного апарату рослин пшениці. Найвищий вміст хлорофілу *b* (53,3 %) визначили в рослинах, які зростали на ґрунті, удобреному гуміновим препаратом 5R SoilBoost EA, завдяки якому вміст калію перевищував контроль майже в 3 рази.

Таким чином, удобрення ґрунтового субстрату перед висівом насіння гуміновим препаратом 5R SoilBoost EA сумісно з азотним добривом сприяло інтенсифікації ростових процесів на початкових стадіях вегетації пшениці озимої сорту Смуглянка. У першу чергу це стосується інтенсивного розвитку кореневої системи, паростка в цілому та збільшення біомаси рослин. Залежно від вмісту поживних речовин у ґрунтовому субстраті істотних змін зазнає вміст основних пігментів фотосинтетичного апарату рослин пшениці. Максимальний ефект спостерігали у рослин, що зростали на ґрунті, удобреному сумішшю аміачної селітри та гумінового препарату 5R SoilBoost EA.

5. Проведення польового досліджу з визначення ефективності впровадження гумінових препаратів в технологію вирощування пшениці озимої

Для доказу доцільності застосування гумінових препаратів в польових умовах на різних культурах необхідно провести оцінку їх впливу на конкретну культуру, зокрема пшеницю озиму. Відомо, що спільне застосування стимуляторів росту і мінеральних добрив підвищує рівень окультуреності ґрунту за рахунок істотного підвищення вмісту поживних речовин в ґрунті, сприяє поліпшенню його структури, волого- і повітрообміну. В свою чергу, присутність гумінових речовин підвищує ефективність поглинання рослинами поживних речовин із ґрунту, проникність клітин і, очевидно регулює механізми, які беруть участь в стимуляції росту рослин.

Для проведення польових досліджень, як і досліджень в умовах закритого ґрунту, використовували пшеницю озиму сорту Смуглянка.

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий важко суглинковий з вмістом гумусу в орному шарі 4,9–5,0 %, $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,6$, вміст фосфору становив 8,8 мг/кг ґрунту, вміст азоту загального – 14,4 мг/кг (лужногідролізованого – 10,1 мг/кг), вміст калію – 68,5 мг/кг.

Оскільки вміст нітрогену у ґрунті достатньо низький (14,4 мг/кг) в основних сівозмінах використовують бобово-злакові суміші. Їх цінність обумовлена накопиченням легкозасвоюваних форм поживних речовин, особливо азоту, до моменту сівки пшениці озимої. У наших експериментах був використаний горох, відразу після збирання якого було проведено дискування ґрунту на глибину 8–10 см, під час якого більшу частину рослинних залишків гороху перемішали та заклали в

грунт. Після чого в грунт було внесено мінеральні та комбіновані добрива. Вдруге добрива вносили відразу після висіву насіння.

У польовому досліді тестували такі варіанти удобрення:

Варіант 1: Аміачна селітра, 120 кг/га.

Варіант 2: Карбамідно-аміачна суміш (КАС-32), 100 кг/га.

Варіант 3: 5R SoilBoost EA (гранули, 11 кг/га).

Варіант 4: Суміш аміачної селітри і 5R SoilBoost EA (1:1).

Варіант 5: Суміш КАС і 5R Soil Boost EA (1:1).

Доцільність використання гумінового препарату 5R SoilBoost EA обґрунтована результатами досліджень, проведених з даним сортом пшениці в умовах закритого ґрунту (розділ 4).

Задля запобігання ураження насіння пшениці найбільш поширеними хворобами (кореневою гниллю, твердою сажкою, бурю листовою іржею) перед сівбою проведено протруювання насіння суспензію препарату Раксил Ультра FS, з розрахунку 0,2 л/т.

Спосіб сівби насіння – звичайний рядковий. Норма висіву насіння становила – 4,5–5,0 млн шт. схожого насіння на гектар. Загортання насіння при сівбі проводили на глибину 6–8 см, після чого проводили коткування. Посівна площа земельної ділянки – 1 га, облікова – 0,8 га. Повторність досліду триразова, розміщення варіантів рендомізоване.

Захист посівів пшениці від бур'янів проводили шляхом обприскування гербіцидом Гроділ Макс (д. р. йодосульфурон, 25 г/л + амідосульфурон, 100 г/л + мефенпір-діетил (антидот), 250 г/л) з розрахунку 100 г/га. Захист посівів від шкідників проводили за допомогою інсектициду фосфорорганічного походження Акцент (д. р. диметоат) з розрахунку 1,5 л/га. Як фунгіцид використовували Імпакт 25 SC (д. р. флутриафол) – 0,5 л/га.

Строк настання повної стиглості (збирання врожаю) визначали еозиновим методом, який було запропоновано кафедрою рослинництва Харківського аграрного університету. Даний метод ґрунтується на біологічному зв'язку між фазою стиглості зерна та інтенсивністю транспірації рослин. З цією метою в 1 %-й розчин еозину занурювали свіжозібране колосся із соломом довшиною 15–20 см і залишали на 3 години. Через 3 години спостерігали зміну забарвлення колосся та визначали фазу стиглості: інтенсивно-червоне забарвлення свідчить про настання молочної стиглості, якщо забарвлюються лише окремі колоски і дуже слабо – воскова стиглість, колосся повної стиглості не забарвлюється взагалі. Збирання врожаю проводили у фазі повної стиглості.

5.1. Вплив варіантів удобрення на вміст основних елементів живлення у ґрунті орного шару

У роботі проведено дослідження впливу мінеральних добрив та їх сумішей з гуміновим препаратом 5R SoilBoost на вміст азоту, фосфору і калію у верхньому шарі ґрунту 0–20 см. Результати визначень представлені в таблиці 3.

3. Вміст елементів живлення в ґрунті за різних варіантів удобрення, мг/кг ґрунту

Варіант досліджу	N загальний	N легкогідролізуємий	P	K
Контроль	14,4	10,1	8,8	68,5
NH ₄ NO ₃	17,0	11,9	9,6	76,8
КАС	17,6	12,3	10,2	78,5
5R Soil Boost	18,7	13,1	11,7	79,2
NH ₄ NO ₃ + 5R Soil Boost	21,0	14,7	12,1	107,1
КАС + 5R Soil Boost	22,1	15,4	13,0	109,2

Джерело: авторські дослідження.

Як видно з наведених даних, внесені форми добрив мали істотний вплив на вміст основних елементів живлення в ґрунті орного шару. Так, на ділянках, удобрених аміачною селітрою і рідкою карбамідно-аміачною сумішшю (КАС) вміст легкогідролізуємого азоту перед сівбою не відрізнявся суттєво і знаходився в межах 11,9–12,1 мг/кг ґрунту, але порівняно з контролем внесення чистої аміачної селітри сприяло збільшенню вмісту даного елементу живлення на 17,8 %, а внесення КАС – на 21,8 %.

Додавання до мінеральних добрив гумінового препарату 5R Soil Boost призвело до подальшого накопичення азоту у ґрунті, вміст якого на 23,5 % збільшився при застосуванні суміші NH₄NO₃ + 5R SoilBoost і на 25,2 % – при застосуванні КАС + 5RSoilBoost в порівнянні з чистими формами відповідних мінеральних добрив.

Фосфор – другий за значимістю після азоту елемент живлення рослин. Він забезпечує енергетичні процеси в клітинах рослин, впливає на розвиток кореневої системи, підвищує врожайність культур. Пшениця озима особливо чутлива до нестачі фосфору на початкових етапах розвитку під час формування кореневої системи, оскільки саме на цьому етапі рослини найменш захищені та потребують додаткового живлення, а забезпечення цим елементом на пізніших етапах не може його компенсувати. Саме тому, ми здійснили моніторинг вмісту фосфору у ґрунті на всіх варіантах удобрення сумішами 5R SoilBoost з NH₄NO₃ та КАС і порівняли із вмістом фосфору у ґрунті, де вносили лише мінеральні добрива – NH₄NO₃ або КАС. Виявилось, що рівень фосфору у ґрунті збільшився на 26,0 % в результаті внесення суміші 5R SoilBoost + NH₄NO₃ і на 27,4 % при внесенні 5R SoilBoost + КАС.

Внесені добрива також сприяли підвищенню вмісту обмінного калію. Максимальне збільшення вмісту калію спостерігали при застосуванні сумішей мінеральних добрив з гуміновим препаратом 5R SoilBoost. Приріст вмісту калію становив 39,4 % при внесенні суміші NH₄NO₃ + 5R SoilBoost в порівнянні з чистою селітрою і 39,1 % при внесенні суміші КАС + 5R SoilBoost в порівнянні з КАС.

На ділянках, де вносили чистий гуміновий препарат 5R SoilBoost рівень калію перевищував його вміст на ділянках, де вносили чисті

мінеральні добрива КАС та NH_4NO_3 на 1–3 %, відповідно, і на 15,6 % – вміст на контрольних ділянках (без добрив).

Таким чином, максимальний вплив на накопичення елементів живлення у ґрунті перед висівом насіння пшениці здійснили суміші мінеральних добрив NH_4NO_3 + 5R Soil Boost та КАС + 5R Soil Boost.

5.2. Вплив варіантів удобрення на елементи структури врожаю та врожайність пшениці озимої сорту Смуглянка

Під елементами структури врожаю розуміють продуктивні органи й ознаки рослини, які створюють і визначають об'єм врожаю. Для пшениці основними елементами врожаю є: продуктивне кушення, маса зерна з колоса та маса 1000 зернин. У більшості сучасних сортів пшениці перевага щодо врожайності забезпечується за рахунок високої кількості зерен з колоса та продуктивного кушення. Але більшість механізмів підвищення врожайності зернових на теперішній час не вивчені та вимагають подальших досліджень [535, 536].

У таблиці 4 представлені результати дослідження впливу мінеральних добрив та їх сумішей з гуміновим препаратом 5R SoilBoost на показники продуктивності пшениці озимої сорту Смуглянка.

4. Елементи структури врожайності пшениці озимої сорту Смуглянка залежно від варіанту удобрення (середні показники за роки досліджень)

Варіант удобрення	Продуктивне кушення	Маса зерна з колоса, г	Маса 1000 зернин, г
NH_4NO_3	1,54	1,57	41,16
КАС	1,58	1,64	41,25
5R Soil Boost	1,67	1,66	42,54
NH_4NO_3 + 5R Soil Boost	1,73	1,71	45,40
КАС + 5R Soil Boost	1,81	1,82	45,80

Джерело: авторські дослідження.

Як відомо, ключовим компонентом урожайності пшениці є продуктивне кушення, яке визначається як кількість стебел, які формують колосся і насіння. З наведених у таблиці 4 даних видно, що всі елементи структури врожайності пшениці, у тому числі й продуктивне кушення, позитивно реагують на застосування гумінових речовин у технологіях вирощування. Достатньо високий вплив на продуктивне кушення рослин пшениці продемонстрували суміші гумінового препарату 5R SoilBoost з КАС, внаслідок застосування яких продуктивне кушення збільшилось на 14,4 % відносно контролю (чистої КАС). Карбамідно-аміачна суміш є добривом з великою кількістю переваг перед твердими азотними добривами, зокрема аміачною селітрою, такими як рівномірний розподіл у ґрунті, мінімальна втрата поживних речовин і зменшення забруднення

⁵³⁵ Тарануха Г. И. Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур. Минск : ИВЦ Минфина, 2009. 420 с.

⁵³⁶ Дробыш А. В., Тарануха Г. И. Элементы структуры урожайности перспективных сортов озимой мягкой пшеницы. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4. С. 57–60.

навколишнього середовища. Крім того, КАС на відміну від аміачної селітри, здатна забезпечити пролонговане живлення рослин азотом, оскільки містить три форми азоту: нітратний, амонійний і амідний азот. Амідний азот в результаті діяльності ґрунтових мікроорганізмів переходить в амонійну форму, а потім у нітратну. Зважаючи на відсутність у складі КАС вільного аміаку, він не випаровується в атмосферу при внесенні в ґрунт, саме цим можна пояснити його ефективність у складі суміші.

Збільшення продуктивного кушення на 12,3 % спостерігали і при застосуванні суміші 5R SoilBoost з аміачною селітрою порівняно з ділянками, де рослини підживлювали лише аміачною селітрою. Безпосередній вплив гумінового препарату на даний показник структури врожаю не викликає сумнівів, оскільки навіть його застосування у чистому вигляді сприяло збільшенню продуктивного кушення на 8,4 % відносно NH_4NO_3 і на 5,7 % відносно КАС.

Як наслідок найбільшого продуктивного кушення на варіанті з застосуванням суміші 5R SoilBoost + КАС отримана найбільша маса зерна з однієї рослини, перевищення контролю склало 11 %, при застосуванні 5R SoilBoost з аміачною селітрою – 9 %, тобто рівень живлення виявився основним регулюючим чинником процесу формування маси зерна з колоса. В наших дослідженнях найбільш ефективну дію спричинила суміш 5R SoilBoost + КАС, підтвердженням чого є найбільша маса зерна з колоса (1,82 г). Також, позитивний вплив на формування зерна з однієї рослини пшениці спостерігали і при застосуванні чистого гумінового препарату 5R SoilBoost. Збільшення маси зерна з колоса становило 5,7 % відносно рослин, де вносили NH_4NO_3 , і 1,2 %, відносно рослин, де ґрунт підживлювали лише КАС.

Слід відзначити, що покращення показників структури й якості врожаю, зокрема збільшення кількості зернин в колосі та їхньої маси в результаті сумісного застосування азотних добрив і гумінових стимуляторів, висвітлено в ряді наукових публікацій [506, 512]. В наших експериментах спостерігалась аналогічна закономірність.

Рослини пшениці добре реагували на підживлення монодобривами, тобто, NH_4NO_3 , КАС та 5R SoilBoost, але найбільш помітною була на реакція на обробку гуміновим препаратом 5R SoilBoost, внаслідок якої маса 1000 зернин збільшилась на 3,1–3,3 % порівняно в чистими мінеральними добривами КАС і NH_4NO_3 , відповідно. Максимальне збільшення маси 1000 зернин спостерігали у рослин, які підживлювали сумішами NH_4NO_3 + 5R SoilBoost та КАС + 5R SoilBoost на 10,3 % та 11,0 %, відповідно, порівняно з рослинами, які підживлювали NH_4NO_3 та КАС.

Застосуванням ефективних комплексних форм добрив з урахуванням вмісту елементів живлення у ґрунті можна отримати врожайність пшениці в декілька разів вище, ніж на ділянках з використанням монодобрив (аміачної

селітри або карбамід-аміачної суміші). Переходячи до визначення найбільш ефективного варіанту удобрення, ми порівняли обсяги врожаю як результат удобрення посівів пшениці чистим гуміновим препаратом 5R SoilBoost, так і його сумішами з NH_4NO_3 і КАС, з урожаєм зерна, отриманого з ділянок, де використовували лише NH_4NO_3 або КАС (таблиця 5).

5. Урожайність пшениці озимої сорту Смуглянка залежно від варіанту удобрення за роки досліджень (2019–2021 рр.), т/га

Варіант удобрення	2019 рік	2020 рік	Динаміка 2019/2020, %	2021 рік	Динаміка 2021/2020, %	Динаміка 2021/2019, %
NH_4NO_3	5,32	5,40	101,50	5,46	101,11	102,63
КАС	5,47	5,52	100,91	5,58	101,09	102,01
5R Soil Boost	5,73	5,78	100,87	5,84	101,04	101,92
NH_4NO_3 + 5R Soil Boost	6,40	6,47	101,09	6,52	100,77	101,88
КАС+ 5R Soil Boost	6,71	6,80	101,34	6,87	101,03	102,38

Джерело: авторські дослідження.

На всіх варіантах застосування 5R SoilBoost у будь-якій формі встановлено приріст врожайності в порівнянні з варіантами використання чистих мінеральних добрив впродовж усіх років досліджень. Урожайність на ділянках, де вносили 5R SoilBoost у чистому вигляді перевищувала урожайність на ділянках, які підживлювали NH_4NO_3 на 7,0–7,7 % і відносно ділянок, удобрених КАС ~ на 4,8% в середньому за роки досліджень.

Максимальне збільшення врожайності спостерігали на ділянках, удобрених сумішами 5R SoilBoost + КАС, яке у 2019 році становило 22,7 %, у 2020 та 2021 роках ~ 23 %. На ділянках, удобрених сумішами 5R SoilBoost + NH_4NO_3 , приріст врожаю складав ~ 20 % в середньому за роки досліджень.

Таким чином, правильним використанням форм добрив можна забезпечити збалансоване живлення рослин, усунути недолік або знизити негативний вплив надлишку будь-якого елементу в ґрунті й отримати суттєве збільшення урожайності культури.

6. Роль гербіцидів у системах боротьби з бур'янами

Незважаючи на кілька десятиліть розробки та впровадження методів боротьби з бур'янами, вони все ж залишаються постійною загрозою для продуктивності сільськогосподарського виробництва через динамічну природу їх популяцій. Стійкі до гербіцидів бур'яни та зміни їх чисельності продовжують створювати нові проблеми для сільського господарства. Зараження бур'янами сільськогосподарських угідь є результатом застосованих технологій вирощування рослинних культур (тобто ротація, обробіток ґрунту, внесення добрив, міжряддя та гербіциди), характеристик ґрунтових ресурсів і умов навколишнього середовища. Здатність популяцій бур'янів змінюватися у відповідь на практики їх знищення свідчить про необхідність застосування більш

комплексних і різноманітних підходів, впровадження досконалих технологій боротьби з бур'янами.

Протягом багатьох років метою сільського господарства була розробка інтегрованих систем боротьби з бур'янами, яка об'єднувала б методи боротьби з ними та наукові знання таким чином, щоб враховувати причини виникнення бур'янів, їх біологічні особливості, створення систем посівів будь-яких культур несприятливих до бур'янів і зведення до мінімуму їх виживання, а не реагувати на уже існуючі популяції.

Найкращим підходом може бути об'єднання системи посівів і стратегій боротьби з бур'янами в комплексну систему, яка є екологічно й економічно життєздатною. Вирішення питання щодо боротьби з бур'янами у екологічному й управлінському контексті може призвести до використання більш широкого спектру культурних та управлінських практик для регулювання популяцій бур'янів і запобігання накопиченню адаптованих видів. Це допоможе виробникам керувати всіма ресурсами щодо їх знищення та стимулюватиме вчених до розробки більш різноманітних і досконалих підходів до боротьби з бур'янами.

Термін «інтегрована боротьба з бур'янами» вперше з'явився в літературі в 1967 році. Хоча було запропоновано багато визначень, усі вони містять два ключових елементи: використання різноманітних тактик знищення бур'янів та інтеграція знань з біології бур'янів у систему управління. Таким чином, стратегії комплексної боротьби з бур'янами передбачають широкі підходи, у тому числі застосування гербіцидів, обробіток ґрунту тощо. Боротьба з бур'янами – це дії, що використовуються для ліквідації їх наявної популяції, акцент на запобіганні розмноженню бур'янів, зменшенню їх сходів після сівби рослинної культури та мінімізації конкуренції бур'янів з культурою.

Одним з методів боротьби з бур'янами є профілактика їх виникнення, тобто, застосування заходів для запобігання їх занесенню та поширенню через забруднене насіння сільськогосподарських культур, транспортування насіння на поля, збиральну й іншу технологічну техніку тощо. Однак останнім часом концепція профілактики втратила свою значимість через доступність ефективних гербіцидів і механічних заходів боротьби. Одночасно, наявність ефективних та недорогих гербіцидів створила враження, що завжди можна у будь-який спосіб знищити бур'яни. Так може бути у більшості випадків, але якщо новий вид або біотип толерантний до використовуваних гербіцидів, є висококонкурентоспроможним або має інші відмінні характеристики, які ускладнюють дію гербіциду, це може суттєво знизити врожайність сільськогосподарських культур.

Впровадження систем боротьби з бур'янами на основі гербіцидів дозволило розробити відносно прості системи вирощування рослинних культур і сприяло змінам у технологіях їх виробництва. Впровадження

селективних гербіцидів наприкінці 40-х років і постійне створення нових гербіцидів у наступні десятиліття надали виробникам ефективний інструмент боротьби з бур'янами [537].

Використання цих хімічних речовин призвело до підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, але, з іншого боку, незважаючи на те, що вони є високоефективними речовинами у боротьбі з бур'янами, призвело до зміни фітосоціологічного складу бур'янів і до виділення біотипів, стійких до гербіцидів, а також спричинило негативний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини. За даними [538], гербіциди є найбільш використовуваними хімічними речовинами в усьому світі. Протягом 90-х років світові продажі пестицидів залишалися відносно незмінними та становили від 270 до 300 мільярдів доларів США, і 47 % цієї вартості припадало на гербіциди. З 2007 року гербіциди посіли перше місце серед трьох основних категорій пестицидів (інсектициди, фунгіциди/бактерициди, гербіциди) [539].

Однак, поряд з перевагами, гербіциди мають низку недоліків, серед яких такі: деякі гербіциди не піддаються біологічному розкладанню і, таким чином, можуть зберігатися в навколишньому середовищі протягом тривалого періоду часу; можуть переноситися в річки дощовою водою або вимиватися в підземні води, що забруднюють ці середовища; деякі гербіциди можуть накопичуватися в харчовому ланцюгу та бути токсичними для тварин і для людини; деякі гербіциди, можуть мати канцерогенні властивості та призводити до різноманітних захворювань тощо [540].

Гербіциди можуть спричиняти шкідливий вплив на організм людини як своєю прямою дією, так і опосередковано [541]. Серед біологічних ефектів цих хімічних речовин можна назвати генетичні пошкодження, різноманітні фізіологічні зміни та навіть загибель організмів. Деякі гербіциди в низьких концентраціях не можуть викликати негайних помітних ефектів в організмах, але у довгостроковій перспективі можуть зменшити тривалість життя [542].

Використання гербіцидів вимагає знання їхньої стабільності та трансформації в навколишньому середовищі, а також їх впливу на ґрунтові мікроорганізми. Так, триазинові гербіциди стійкі в ґрунті протягом кількох місяців і вони, а також деякі продукти їх розпаду, використовуються ґрунтовими мікроорганізмами як джерело енергії (алкільні фрагменти) й азоту (амінні фрагменти).

⁵³⁷ Kudsk P., Streibig J. C. Herbicides: a two-edged sword. *Weed Res.* 2003. Vol. 43. P. 90–102.

⁵³⁸ He H., Yu J., Chen G., Li W., He J., Li H. Acute toxicity of butachlor and atrazine to freshwater green alga *Scenedesmus obliquus* and cladoceran *Daphnia carinata*. *Ecotox. Environ. Saf.* 2012. Vol. 80. P. 91–96.

⁵³⁹ Zhang W., Jiang F., Ou J. Global pesticide consumption and pollution: with Chinas as a focus. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences.* 2011. Vol. 1 (2). P. 125–144.

⁵⁴⁰ Jurado A. S., Fernandes M. A. S., Videira R. A., Peixoto F. P., Vicente J. A. F. Herbicides: The Face and the Reverse of the Coin. An in vitro Approach to the Toxicity of Herbicides in Non-Target Organisms. In: Kortekamp A. (Ed.) *Herbicides and Environment.* Croatia, 2011. P. 3–45.

⁵⁴¹ Kortekamp A. *Herbicides and Environment.* Croatia, 2011. 760 p.

⁵⁴² Nehls S., Segner H. Detection of DNA damage in two cell lines from rainbow trout, RTG-W1, using the comet assay. *Environmental Toxicology.* 2001. Vol. 16. P. 321–329.

Потрапляючи в ґрунт, гербіциди можуть зазнавати змін у своїй структурі та складі внаслідок дії фізичних, хімічних і біологічних процесів. Саме ця властивість гербіцидів визначає їх активність і стійкість у ґрунті. Деякі молекули, потрапляючи в ґрунт, зменшують свою активність внаслідок випаровування та фоторозкладання. Потрапляючи в ґрунт, гербіциди можуть зазнавати дії мікроорганізмів, які, внаслідок високої вологості та високої температури, можуть сприяти їх розкладанню [543]. Якщо гербіциди не поглинаються рослинами бур'янів, вони можуть сильно адсорбуватися на органічній речовині, присутній у колоїдній фракції ґрунту, переноситися дощовою водою та навіть бути фільтратом, досягаючи таким чином поверхневих або підземних вод [544].

Під час вибору найбільш ефективного для певної культури гербіциду необхідно, щоб він задовольняв дві умови: по-перше, щоб обраний гербіцид досягав коренів у концентраціях, достатньо високих для боротьби з бур'янами, без шкоди для продуктивності сільського господарства, і, по-друге, передбачити, чи є сполука гербіциду рухомою в ґрунті, щоб оцінити, скільки гербіциду може бути вилучено з зони коренів бур'янів і потрапити у ґрунтові води [545].

Таким чином, з наявністю гербіцидів та впровадженням їх в технологію вирощування рослинних культур, питання боротьби з бур'янами стало менш актуальним, однак з часом популяції бур'янів стають стійкими до гербіцидів, і тому необхідні нові методи і підходи, щоб керувати гербіцидами й іншими ресурсами таким чином, щоб адаптовані види бур'янів не досягли проблемних розмірів. Через різноманітність і пластичність популяцій бур'янів, необхідно розглядати методи боротьби з бур'янами не як миттєвий результат, а як безперервний процес.

6.1. Використання гумінових речовин для підвищення ефективності дії гербіцидів у боротьбі з бур'янами

Численні дослідження й огляди щодо використання різних форм та видів добрив і взаємодії між культурами та бур'янами дають суперечливі висновки [546, 547]. Немає сумнівів у тому, що внесення добрив у ґрунт може змінити конкурентний баланс між посівами та бур'янами. Однак, вплив бур'янів можна зменшити за допомогою стратегій управління, які максимізують поглинання поживних речовин культурами та мінімізують доступність поживних речовин для бур'янів. Як показано в дослідженні

⁵⁴³ Moura M. A. M., Franco D. A. S., Matallo M. B. Impacto de herbicidas sobre os recursos hídricos. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*. 2008. Vol. 1 (1). P. 142–151.

⁵⁴⁴ Roman E. E., Beckie H., Vargas L., Hall L., Rizzardi M. A., Wolf T. M. Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação. *Passo Fundo, Brasil*. 2007. 158 p.

⁵⁴⁵ Mesnage R., Székács A., Zaller J. G. 1 - Herbicides: Brief history, agricultural use, and potential alternatives for weed control. *Herbicides. Chemistry, efficacy, toxicology, and environmental impacts emerging issues in analytical chemistry*. 2021. P. 1–20. doi: 10.1016/B978-0-12-823674-1.00002-X

⁵⁴⁶ Song J.-S., Im J.-H., Kim J.-W., et al. Modeling the Effects of Nitrogen Fertilizer and Multiple Weed Interference on Soybean Yield. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 515. doi: 10.3390/agronomy11030515

⁵⁴⁷ Little N. G., DiTommaso A., Westbrook A. S., Ketterings Q. M., Mohler C. L. Effects of Fertility Amendments on Weed Growth and Weed–Crop Competition: A Review. *Weed Science*. 2021. Vol. 69 (2). P. 132–146. doi: 10.1017/wsc.2021.1

[548], внесення добрив на 5 см нижче поверхні ґрунту в кожному другому міжрядді призводить до зменшення біомаси бур'янів на 55 % і густоти бур'янів на 10 %, одночасно збільшуючи врожайність зерна ячменю (*Hordeum vulgare* L.) на 28 % порівняно з рівномірним їх внесенням по всій поверхні ділянки. Автори роботи [549] вносили добрива за периметром земельної ділянки, і, як результат, отримали меншу на 20–40 % щільність бур'янів та їх біомаси, а врожайність пшениці виявилась на 12 % більшою порівняно зі звичайним способом внесення добрив.

Інші методи регулювання відносної доступності поживних речовин для сільськогосподарських культур і бур'янів включають час внесення добрив [550], зміну джерел поживних речовин або зміну доступності поживних речовин за допомогою таких матеріалів, як інгібітори нітрифікації [551].

Більш фундаментальним методом маніпулювання відносним поглинанням поживних речовин культурами та бур'янами може бути покращення механізмів і кінетики поглинання мінеральних речовин сільськогосподарськими рослинами. Майже у всіх випадках, коли порівнювалися концентрації поживних речовин у посівах і бур'янах, накопичення поживних речовин у бур'янах перевищувало рівні у відповідній культурі. Тому, щоб максимізувати поглинання поживних речовин та ефективність використання добрив культурами, які конкурують з бур'янами, необхідно краще розуміти механізми потоків поживних речовин у коренях бур'янів і сільськогосподарських рослин [552]. Регулюванням доз добрив на користь культури можна не тільки збільшити поглинання поживних речовин культурою, але, ймовірно, покращити конкурентоспроможність культури щодо інших ресурсів, які в іншому випадку могли б бути доступними для бур'янів.

Серед зернових культур найважливіше місце займає пшениця озима, як культура з високим потенціалом урожайності та поживними властивостями. Серед багаточленних факторів, що впливають на рівень урожайності, можна виділити норми та способи внесення добрив, а також програми захисту рослин, включаючи методи боротьби з бур'янами [553]. Боротьба з бур'янами включає різноманітні методи, які створюють баланс

⁵⁴⁸ Rasmussen T. L., Thomsen E., van Weering Tjeerd C. E., Labeyrie L. D. Rapid changes in surface and deep water conditions at the Faeroe margin during the last 58,000 years. *Paleoceanography*. 1996. Vol. 11 (6). P. 757–771. doi: 10.1029/96PA02618

⁵⁴⁹ Kirkland K. J., Beckie H. J. Contribution of Nitrogen Fertilizer Placement to Weed Management in Spring Wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Technology*. 1998. Vol. 12, Issue 1. P. 507–514.

⁵⁵⁰ Chauhan B. S., Abugho S. B. Fertilizer Placement Affects Weed Growth and Grain Yield in Dry-Seeded Rice (*Oryza sativa* L.) Systems. *American Journal of Plant Sciences*. 2013. Vol. 4, Issue 6.

⁵⁵¹ Cui L., Li D., Wu Z., et al. Effects of Nitrification Inhibitors on Soil Nitrification and Ammonia Volatilization in Three Soils with Different pH. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. P. 1674. doi: 10.3390/agronomy11081674

⁵⁵² Thorup-Kristensen K., Kirkegaard J. Root system-based limits to agricultural productivity and efficiency: the farming systems context. *Annals of Botany*. 2016. Vol. 118, Issue 4. P. 573–592. doi: 10.1093/aob/mcw122

⁵⁵³ Jańczak C., Filoda G., Matysiak R. Elements of Integration in Winter Wheat Protection Programs. *Acta Agrobotanica*. 2005. Vol. 58, Issue 1. P. 29–36.

між культурою пшениці та бур'янами, і, передусім включають біологічні та фізичні методи боротьби з бур'янами [554].

Як було вказано вище, найкращий ефект у боротьбі з бур'янами можна отримати від застосування відповідних гербіцидів. Крім знищення бур'янів, обробка гербіцидами послаблює їх стан і спричиняє порушення цвітіння та плодоношення. Проте, останнім часом, в технологіях вирощування зернових, спостерігається тенденція до зниження доз гербіцидів, що сприяє зниженню рівня забруднення навколишнього середовища. Так, у дослідженні [555], описано та доведено ефективність різних доз гербіцидів і позакореневого підживлення щодо зниження забур'яненості посівів пшениці озимої. Встановлено, що застосування знижених доз гербіцидів не суттєво диференціює рівень забур'яненості посівів, а позакореневе підживлення взагалі не вплинуло на рівень забур'яненості посіву. Крім того, не встановлено взаємодії між внесеними дозами гербіциду та позакореновими підживленнями, але виявлено, що кількість бур'янів на контрольній ділянці була значно вищою порівняно з обробленими гербіцидами ділянками при внесенні повної та зменшеної на 25 і 50 % доз гербіциду.

Присутність гумінових кислот і різноманітних катіонів у ґрунтах сприяє збільшенню рухливості, біодоступності та ефективності гербіцидів. Саме гумінові речовини здатні прискорювати проникнення діючої речовини гербіциду в рослини бур'янів, що призводить до їх знищення.

Найважливішими фізико-хімічними властивостями гербіцидів і продуктів їх розпаду є розчинність у воді та здатність утримуватися органічними речовинами ґрунту, остання властивість залежить від повноти комплексоутворення між гербіцидами та гуміновими кислотами або адсорбційних властивостей гербіциду. В умовах навколишнього середовища такі гербіциди, як, наприклад, s-триазини, зазвичай розкладаються до сполук з кращою розчинністю у воді [556, 557]. Оскільки гумінові кислоти – це макромолекули з відносною масою понад 30000 Да та хімічною структурою, що складається з ароматичних кілець, пов'язаних з великими алкільними групами, карбоксильними й іншими функціональними групами, такими як фенольні, спиртові, карбонільні, етерні, естерні, амідні й аміні, у водному розчині при значеннях рН вищих за рКа поведуться як негативно заряджені поліелектроліти або як гідрофобні молекули в незарядженому вигляді у кислому середовищі [558, 559].

⁵⁵⁴ Feledyn-Szewczyk B., Jończyk K. (2017). Weed suppression and yield of thirteen spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties grown in an organic system. *Acta Agrobotanica*. 2017. Vol. 70, Issue 3. P. 1721. doi: 10.5586/aa.1721

⁵⁵⁵ Kraska P., Okoń S., Pałys E. Weed infestation of a winter wheat canopy under the conditions of application of different herbicide doses and foliar fertilization. *Acta Agrobotanica*. 2009. Vol. 62, Issue 2. P. 193–206.

⁵⁵⁶ Pang L., Close M. E. A field tracer study of attenuation of atrazine, hexazinone and procymidone in a pumice sand aquifer. *Pest Manag. Sci.* 2001. Vol. 57. P. 1142–1150.

⁵⁵⁷ Aelion C. M., Mathur P. P. Atrazine biodegradation to deisopropylatrazine and deethylatrazine in coastal sediment of different land uses. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2001. Vol. 20. P. 2411–2419.

⁵⁵⁸ Prosen H., Zupancic-Kralj L. The interaction of triazine herbicides with humic acids. *Chromatographia Supplement*. 2000. Vol. 51. P. 155–164.

⁵⁵⁹ Gondar D., Lopez R., Fiol S., Antelo J. M., Arce F. Characterization and acid–base properties of fulvic and humic acids isolated from two horizons of an ombrotrophic peat bog. *Geoderma*. 2005. Vol. 126. P. 367–374.

Гербіциди можуть існувати в розчиненому стані, в асоціації з колоїдною фазою, або адсорбуватися на ґрунті. Рушійними силами цієї адсорбції є електростатична взаємодія, водневі зв'язки, механізм перенесення заряду, донорно-акцепторний механізм, сили Ван-дер-Ваальса та гідрофобні взаємодії [560]. Ці механізми діють одночасно, і їхня конкуренція визначає затримку гербіцидів у ґрунті та водних системах. Основним засобом утримання гербіцидів у ґрунтах є їх сорбція на поверхні частинок ґрунту [561]. На адсорбцію гербіциду сильно впливають властивості розчиненої речовини та склад органічної речовини ґрунту, до якої входять гумінові кислоти.

Складові ґрунту мають різні типи поверхонь, які поділяють на іонні, полярні та неполярні. Іонні і полярні центри на поверхні ґрунту взаємодіють з полярними функціональними групами молекул гербіцидів, які розчинні у воді. Навпаки, неполярні ділянки на поверхні ґрунту мають низьку спорідненість до води і тому легко взаємодіють з неполярними частинами молекули гербіциду [561]. З цієї причини характеристики ґрунтів впливають на процеси адсорбції, транспортування та деградації гербіцидів і, як наслідок, на долю гербіцидів, що потрапляє у навколишнє середовище.

Численними авторами, вивчалися різні аспекти взаємодії між гербіцидами та гуміновими кислотами, використовуючи різну методологію для аналізу рівноваги адсорбція/десорбція. Так, автори роботи [558] показали, що рН і концентрація гумінових кислот мають суттєвий вплив на ступінь адсорбції гербіциду в ґрунті. При високих концентраціях агрегація полімеру гумінових кислот стає більш вираженою, що призводить до блокування доступних фрагментів макромолекули гумінових кислот для адсорбції гербіцидів. Щодо впливу рН автори зробили висновок, що при лужних значеннях рН механізм адсорбції гербіциду полягає в розподілі на більш гідрофобній фракції гумінової кислоти, тоді як при кислому рН, ймовірно, відбувається утворення водневих зв'язків між молекулою гербіциду і гумінової кислоти [560].

Науковцями кафедри селекції, насінництва та генетики, кафедри рослинництва та кафедри біотехнології та хімії Полтавського державного аграрного університету було проведено дослідження щодо виявлення ефективності гумінових речовин у посиленні дії гербіцидів у знищенні бур'янів в посівах пшениці озимої. Результати роботи були узагальнені в роботі [468].

Для дослідження було обрано гербіциди з різними діючими речовинами і гумінові препарати, які наведено у таблиці 6.

⁵⁶⁰ Riva S., Juarez A. V., Yudi L. M. Interrection between herbicides and humic acids presemnt in soil. In: *Herbicides: Properties, Crop Protection*. 2011. P. 1–20

⁵⁶¹ Laird D. A., Koskinen W. C. Triazine Soil Interactions. In: *The Triazine Herbicides, 50 Years Revolutionizing Agriculture*. LeBaron H., McFarland J., Burnside O. (Eds.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands, 2008. P. 275–299.

6. Досліджувані гербіциди та регулятори росту

№	Назва	Діюча речовина	Концентрація
1	Гранстар Про	трибенурон метил	750 г/кг
2	Гроділ Максі	йодосульфурон + амідосульфурон + мефенпір-діетил (антидот)	25 г/л + 100 г/л + 250 г/л
3	Пріма	флорасулам + 2-етилгексиловий ефір 2,4-Д	6,25 г/л + 452,5 г/л
4	Трігер	трибенурон-метил	500 г/кг
5	Томіган	флуроксипир	250 г/л
6	Humifield	калієва сіль гумінових кислот	560-720 г/кг
7	4R Foliar concentrate	Гумінові кислоти + фульвові кислоти + ульмінові кислоти + мікроелементи	55 % + 21 % + 5 % + 6 %

Примітка: 1–5 – гербіциди; 6, 7 – гумінові препарати.

Джерело: дані [468].

Дослідження передбачало варіанти використання як чистих гербіцидів, так і в сумішах з гуміновими препаратами Humifield та 4R Foliar concentrate, які приведені в таблиці 7.

7. Вплив гербіцидів та їх сумішей на забур'яненість та урожайність пшениці озимої сорту Смуглянка

№	Варіанти дослідів	Дози	Забур'яненість через 14 днів після обприскування			Урожайність, т/га
			кількість бур'янів, шт./м ²		повітряно-суха маса, г/м ²	
			всього	у т. ч. багаторічних		
1	Гранстар Про	20 г/га	41,87	2,21	4,93	4,28
2	Гроділ Максі	100 г/га	43,66	2,43	5,21	4,28
3	Пріма	400 г/га	39,83	2,24	5,05	4,14
4	Трігер + Томіган	25 г/га + 0,5 л/га	36,92	2,12	5,79	4,30
5	Гранстар Про + Humifield	20 г/га + 200 г/га	41,87	2,11	5,61	4,19
6	Гроділ Максі + Humifield	100 г/га + 200 г/га	35,33	1,96	4,96	4,43
7	Пріма + Humifield	400 г/га + 200 г/га	37,11	2,03	4,84	4,22
8	Трігер + Томіган + Humifield	25 г/га + 0,5 л/га + 200 г/га	39,77	2,13	5,51	4,30
9	Гранстар Про + Foliar concentrate	20 г/га + 2 кг/га	48,00	2,91	6,76	4,92
10	Гроділ Максі + 4R Foliar concentrate	100 г/га + 2 кг/га	55,83	2,82	5,44	4,92
11	Пріма + 4R Foliar concentrate	400 г/га + 2 кг га ⁻¹	53,00	3,18	6,47	4,98
12	Трігер + Томіган + 4R Foliar concentrate	25 г/га + 0,5 л/га + 2 кг/га	52,77	3,13	6,37	4,97
HIP ₀₅			11,2	0,58	1,29	0,34

Джерело: дані [468].

Оцінку ефективності дії гербіцидів проводили шляхом підрахунку бур'янів на 1 м² кожної ділянки досліду. Результати підрахунків показали, що найкращу ефективність демонструє варіант обробки посівів сумішню гербіцидів Тригер + Томіган (25 г/га + 0,5 л/га), де кількість бур'янів дорівнювала 36,92 шт. на 1 м² поля. Найбільша загальна кількість бур'янів (43,58 шт./м²), включно з багаторічними видами (2,35 шт./м²), спостерігалася після обробки полів гербіцидом Гроділ Максі (100 г/га). Ефективність цього гербіциду була на 18,3 % нижче, ніж у Тригер + Томіган. Слід зазначити, що у посівах пшениці переважали дводольні зимуючі види бур'янів, зокрема *Delphinium consolida* L., *Capsella bursa-pastoris* L. Med., *Matricaria perforata* Merat, *Viola arvensis* Murr. , *Galium aparine* L., *Thlaspi arvense* L. Також зустрічалися поодинокі рослини дводольних багаторічних бур'янів – *Cirsium setosum* Willd., *Convolvulus arvensis* L.

Також було досліджено різні варіанти поєднання гербіцидів із гуміновими препаратами, щоб довести підвищення ефективності дії гербіцидів при додаванні до них гумінових речовин. Так, додавання гумінового препарату Humifield, який є калієвою сіллю гумінових кислот в нормі 200 г/га до гербіцидів Гранстар Про та Пріма майже не вплинуло на кількість бур'янів у посівах, а суміш Тригер + Томіган + Humifield продемонструвала навіть невелике збільшення на 7,7 %. Найкраща ефективність була досягнута у варіанті, де посіви обробляли сумішню Гроділ Максі + Humifield. Обприскування посівів даною сумішню призвело до зниження кількості бур'янів на 23,6 %, порівняно з ділянками, обробленими чистим гербіцидом Гроділ Максі (таблиця 7).

Однак, поряд з інгібуючою дією суміші Гроділ Максі + Humifield на популяції бур'янів, спостерігався антистресовий ефект гумінового препарату 4R Foliar concentrate на всі компоненти агроценозу. Аналіз чисельності бур'янів у дослідах 9–12, тобто використання сумішей 4R Foliar concentrate з вказаними гербіцидами, показав, що комплексне застосування сумішей гербіцидів та даного гумінового препарату (4R Foliar concentrate) призводить до зворотного ефекту. На момент збору врожаю кількість бур'янів на полях, оброблених 4R Foliar concentrate з будь-яким із гербіцидів: Гранстар Про, Гроділ Максі, Пріма або Тригер + Томіган, збільшувалася. Найбільш значне збільшення кількості бур'янів на 33 % та 43 %, відповідно, спостерігалася при використанні сумішей Пріма + 4R Foliar concentrate та Тригер + Томіган + 4R Foliar концентрат.

Як уже було згадано, застосування гербіцидів та їх сумішей із гуміновими препаратами суттєво змінює закономірності співіснування компонентів агроценозу. Насамперед це стосується характеру взаємозв'язків між урожайністю та кількістю бур'янів на одиниці площі. У дослідах з використанням чистих гербіцидів та у складі суміші з гуміновим препаратом Humifield кореляція між цими показниками не виявлена. Однак коли 4R Foliar concentrate був компонентом суміші з гербіцидом, спостерігалася пряма кореляція із сильним взаємозв'язком між кількістю багаторічних бур'янів та врожайністю пшениці озимої (рис. 7):

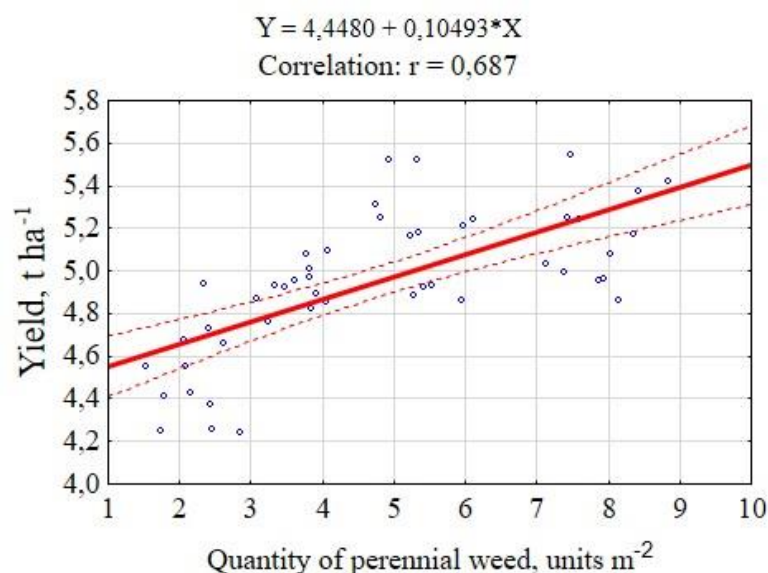


Рис. 7. Графік лінійної регресії забур'яненості посівів пшениці озимої за умов застосування суміші гербіцидів та 4R Foliar concentrate

Джерело: дані [468].

Це підтверджує, що гуміновий препарат 4R Foliar concentrate у суміші з гербіцидами одночасно стимулював зростання та розвиток рослин озимої пшениці, а також підвищував стійкість бур'янів до руйнівної дії гербіцидів. Внаслідок використання такої суміші кількість бур'янів у посівах пшениці збільшилась на 9,8–51,2 %, у тому числі багаторічних на 16,0–50,0 % порівняно з ділянками, обробленими чистими гербіцидами, що, своєю чергою, виступало лімітуючим фактором для максимальної реалізації біологічного потенціалу врожайності культури.

Таким чином, експериментально доведено, що не кожний гуміновий препарат в суміші з гербіцидом може бути ефективним у боротьбі з бур'янами. Разом з тим, можна рекомендувати досліджену суміш Гроділ Максі + Humifield у дозах 100 г/га+200 г/га, відповідно, для знищення бур'янів, у тому числі багаторічних, в посівах пшениці озимої.

7. Агрохімічні, екологічні й економічні аспекти застосування гумінових препаратів в аграрному виробництві

Виробництво гумінових препаратів в останні роки відбувається достатньо інтенсивно у зв'язку з їх поширеним використанням у аграрному секторі. На початок 2018 року ринок цих добрив досягнув 2241 млн доларів США [562].

У зарубіжних країнах, використання гумінових добрив орієнтоване на вирішення конкретних завдань, поставлених перед виробництвом

⁵⁶² Шаповал О. А. Можарова И. П., Коршунов А. А. Эффективность применения и перспективы использования регуляторов роста растений комплексного действия в агротехнологиях сельскохозяйственных культур. *Фитогормоны, гуминовые вещества и другие биологически активные вещества для сельского хозяйства, здоровья людини і охорони навколишнього середовища*. Львів : Вид. Львівської політехніки, 2013. С. 158–163.

сільськогосподарської продукції – отримання продукції заданої якості та кількості [563]. У таких галузях як овочівництво, плодівництво, декоративне садівництво застосування гумінових добрив стало поширеним агротехнічним прийомом. Всього гуміновими препаратами обробляється 50–80 % посівів сільськогосподарських культур. Інший важливий фактор, який дав додатковий поштовх до різкого зростання ринку гумінових добрив – їх органічне походження (можливість отримувати з природної сировини) і екологічність [564].

В Європі основні складові цього ринку – синтетичні стимулятори росту рослин, екстракти на основі морських водоростей і рослин з вираженими імуномодуляторними властивостями. В Україні ринок гумінових препаратів формують, в основному, вітчизняні розробники та виробники. В нашій країні цю роботу проводять у наукових установах, де за останні 15 років створено більше 20 ефективних препаратів. Провідне місце за кількістю зареєстрованих препаратів сьогодні займає Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії Національної Академії наук та ДП «Міжвідомчий науково-технологічний центр «Агробіотех» НАН та МОН України, які є авторами майже 40 % вітчизняних препаратів, 13 з яких дозволені для застосування в Україні та ряді країн світу (Білорусі, Казахстані, Німеччині, Китаї).

Все більшої популярності в Україні набувають гумінові препарати національного виробника-компанії «Life Force Ukraine» (Лайф Форс Україна). Продукти компанії сертифіковані «Органік стандарт», що свідчить про їх високу якість і екологічну чистоту та можливість використання в органічному землеробстві. На ринок випущено як чисті гумінові препарати (Гумат LF 20, Гумат 500), так і спеціалізовані продукти («Гумат Старт», «Фульвігум», «Гумат Аміно», «Гумат Кремній», «Антистрес 03», «Фульвімакс»). Це концентровані рідкі препарати з різним вмістом солей гумінових і фульвових кислот. Спеціалізовані продукти додатково містять мікроелементи, екстракти морських водоростей, амінокислоти. Комбінація гуматів та інших фізіологічно активних речовин сприяє прояву потужного ростостимулюючого та антистресового ефекту.

Україна також імпортує гумінові препарати з інших країн – Білорусі, Китаю, Угорщини, Німеччини, США тощо. Наприклад, компанія «Агротехносоюз» представляє в Україні німецьку компанію «HuminTech GmbH» і завозить концентровані й очищені гумати з леонардиту. Її продукти на українському ринку становлять понад 50 % від загального імпорту в Україні. Крім основних гумінових препаратів Гуміфілд, в. г., Гуміфілд ВР-18 та Фульвітал, в. г., фірма зареєструвала й спеціальні гумінові препарати: «Гуміфілд Форте Аміно» з додаванням амінокислот

⁵⁶³ Clapp C. E., Chen Y., Hayes M. H. B., Cheng H. H. Plant growth promoting activity of humic substances. *Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments, and Waters*: International Humic Science Society. Madison, 2001. P. 243–255.

⁵⁶⁴ Baveye P. C., Wander M. The (Bio)Chemistry of Soil Humus and Humic Substances: Why Is the “New View” Still Considered Novel After More Than 80 Years? *Front. Environ. Sci.* 2019. Vol. 7. P. 27. doi: 10.3389/fenvs.2019.00027

та «Гуміфілд Форте Брікс» з екстрактом морських водоростей, а також комбіновані препарати: «Гуміфілд Форте Фульвік», що містить додатково фульвові кислоти, та «Гуміфілд Форте Макс», що збагачений азотом.

Серед виробників біологічних добавок для ґрунту та стимуляторів росту рослин на основі гумінових, фульвових та ульмінових кислот, виведених з леонардиту, провідну позицію останнім часом займає Американська компанія SoilBiotics. Компанія SoilBiotics має власні виробничі потужності у штаті Нью-Мексико, а також власне виробництво та сучасні лабораторні потужності у штаті Іллінойс. Всі інгредієнти для продукції SoilBiotics вилучені з сирової руди. Компанія SoilBiotics однією з перших почала застосовувати спеціальні технології переробки леонардиту задля створення продукту для ґрунтів та рослин, який не має аналогів у світі. Поєднуючи унікальну сировину та інноваційне виробництво, компанія SoilBiotics вже завоювала довіру численних агровиробників з США, Канади, Пакистану, В'єтнаму та Малайзії. З 2013 року ексклюзивним дистриб'ютором та представником компанії SoilBiotics в Україні є компанія ArgusBiotix.

Органічні продукти SoilBiotics включені до списку Інституту перевірки органічних матеріалів (OMRI, USA). Дозволені для використання при виробництві сертифікованої органічної продукції та в харчовій промисловості відповідно до Принципів національної органічної програми Міністерства сільського господарства США. Компанія виробляє гумінові продукти за трьома напрямками:

- 1r Seed Treatment – для передпосівної обробки насіння, застосування якого значно покращує енергію проростання та схожість насіння і швидкість росту розсади;

- 4r Foliar Concentrate – для позакореневого підживлення в процесі вегетації (містить 90,02 % гумінової кислоти – найбільший відсоток серед усіх продуктів SoilBiotics);

- 5r SoilBoost EA – для збагачення ґрунту елементами живлення (містить 84,17 % гумінових кислот).

Останні два препарати були використані в представленій роботі.

Про високу стимулюючу активність гумусових кислот свідчать результати досліджень Поліської дослідної станції ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського». Встановлено, що використання гумінових препаратів із сапропелю сприяє підвищенню лабораторних показників насіння (енергії проростання – до 28 %, схожості – 20 %, довжини проростка – 77,4 %), врожайності овочевих культур 34,4–88,9 % та покращенню якості продукції (зростання вітаміну С до 136,7, зниження нітратів до 3,2 разів). Приріст врожайності овочевих культур до контролю становив 15,4–39,4 %, при замочуванні розсади зростання врожаю спостерігалось на 38,1–88,9 %, порівняно з контролем [565].

⁵⁶⁵ Дідковська Т. П. Технологічні основи виготовлення та застосування гуматів під овочеві культури : дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.04. Харків, 2009. 184 с.

Оброблення насіння пшениці озимої розчинами гуматів на основі торфу та вугілля вироблених за різною технологією екстрагування з концентрацією 0,001–0,1 % сприяла формуванню більш розгалуженої кореневої системи, при цьому довжина зародкових корінців збільшувалась на 9–63 %, проростка на 2–17 % порівняно з контролем.

Дослідження, проведені науковцями цього ж інституту на Сумській ДС сояшнику сорту «Сівер» та «Харківський-49» із застосуванням гумату спільно з мінеральними добривами, довели ефективність дії гумінового препарату, де приріст урожайності до контролю становив 6–21 % та 33–34 %. Оброблення рослин на початку цвітіння сприяло збільшенню вмісту жиру на 2,35 % [566].

Завдяки малим дозам внесення та низьким цінам на закупівлю, сучасні вітчизняні гумінові препарати характеризуються надзвичайно високим рівнем окупності витрат та приростами врожаїв. Нині жоден з відомих агрозаходів за окупністю витрат не спроможний перевищити застосування гумінових препаратів. При розгляді обсягів промислового виробництва вітчизняних препаратів на перспективу доцільно врахувати, що вони можуть сприяти збільшенню експортного потенціалу України на сотні мільйонів доларів, а також зміцненню економіки господарств і держави в цілому. За експертною оцінкою застосування українських препаратів на третині орних площ України дозволить додатково отримати 3 мільйони тонн зерна пшениці озимої покращеної якості, 400 тисяч тонн насіння сояшника, кукурудзи.

Біологічно активні добрива із включенням гумінових речовин активно використовуються у органічному виробництві. За внесення однієї тонни у ґрунт вноситься до 348 кг органічної речовини, надходить значна кількість гумінових кислот – 15 кг та фульвових кислот – 12 кг, до 9 кг азоту та калію і 5 кг фосфору. За рахунок підвищеного вмісту загального вуглецю в добриві поліпшується гумусовий стан ґрунту, що сприяє підвищенню продуктивності сівозмін в органічному землеробстві.

Агроприйоми щодо внесення в ґрунт гумінових препаратів, в тому числі спільно з мінеральним підживленням, введені в постійну практику ряду передових аграрних країн: США, Канади, Іспанії, Італії [567].

Останнім часом зростає швидкими темпами китайський ринок гумінових препаратів, а цілий ряд великих компаній-виробників, для вдосконалення та підвищення зростання регулюючої активності даних добрив, включають їх до складу азотних і рідких комплексних добрив.

Різняться і форми добрив: чисті препарати та збагачені мікроелементами, тверді та порошкоподібні, гранульовані та рідкі. Останні набули популярності не тільки на ринку України, але й в ряді інших держав. Рідкі гумінові препарати перспективні для застосування в

⁵⁶⁶ Скрильник Є. В., Кутова А. М., Артем'єва К. С. Новації в удобренні сояшнику. *The Ukrainian Farmer*. 2015. № 5 (65). С. 84–87.

⁵⁶⁷ Iakimenko O. S. Commercial humates from coal and their influence on soil properties and initial plant development. In: *Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice*. Perminova I. V., Hatfield K., Hertkorn N. (Eds.). NATO Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences. 2005. Vol. 52. Springer, Dordrecht. The Netherlands. P. 365–378.

сільськогосподарському виробництві, тому що склад їх можна змінювати в широких межах, що дозволяє розробляти найрізноманітніші добрива під конкретні сільськогосподарські культури з урахуванням їх біологічних особливостей і рівня родючості ґрунтів. Рідка форма добрив дозволяє застосовувати їх в будь-яких кліматичних зонах, в тому числі посушливих, в регіонах з високою жорсткістю води.

Виробництво та широке впровадження рідких гумінових препаратів відкривають шлях до практичного зменшення забруднення навколишнього середовища. Переваги цих добрив порівняно із твердими є такими: по-перше, вони більш повно засвоюються рослинами за кореневого й позакореневого підживлення, менше залежать від опадів і, як наслідок цього, менша кількість їх залишається невикористаними та втраченими внаслідок вимивання і вивітрювання; по-друге, завдяки рідкій формі добрива вносяться рівномірно по всій площі, тому рослини одержують однакове живлення; по-третє, за фізичними й хімічними властивостями добрива можна змішувати в різних пропорціях і вносити оптимальне співвідношення поживних речовин під культури (таблиця 8).

8. Особливості та переваги використання гумінових добрив

Параметри	Властивості
Функції	Концентруюча (акумулятивна) Транспортна Регуляторна Стимулювальна Захисна
Способи використання	Передпосівна обробка насіння Додавання до ґрунтового субстрату перед висівом насіння Позакореневе використання Обприскування вегетуючих частин рослин
Форми	Чисті препарати та збагачені мікроелементами Тверді та порошкоподібні Гранульовані та рідкі
Переваги від використання	Захист від пестицидної дії Стійкість проти стресу, викликаного важкими металами Резистентна дія в умовах залізодефіцитного хлорозу Регуляція водного дефіциту Антиоксидантна активність Дія на сольовий стрес Оптимізація температурного стресу Стійкість проти біотичного стресу Покращення властивостей ґрунту Підвищення продуктивності рослин
Негативний вплив на ґрунт	Наявність важких металів (походженням є леонардит) Містять отруйні речовини (отримані з сапропелю) Утворення нерозчинних сполук за одночасного використання фосфорних добрив або селітри в сумішах з гуматами Пригнічування рослин за умови використання великих концентрацій

Джерело: систематизовано авторами.

Таким чином, на підставі широких і різнобічних науково-виробничих досліджень можна дійти висновку, що впровадженням гумінових препаратів як у чистому вигляді, так і у сумішах з мінеральними добривами можна почати вирішення головної проблеми сучасного сільського господарства України – це збільшення врожайності сільськогосподарських культур, поліпшення якості продукції агропромислового виробництва та збереження родючості ґрунтів.

4.5. Розробка сценарію інноваційної моделі управління проектами енергоефективності в енергетичному секторі

Пащенко П. О.

Полтавський державний аграрний університет

У всьому світі на сектор послуг припадає близько 8 % загального кінцевого споживання енергії (майже чверть електроенергії, 14 % природного газу і 3 % нафти TFC). Для ефективного застосування ресурсів й процесів раціоналізації актуалізується розгляд структури економічних і організаційних механізмів сценарного управління енергоефективності бюджетних організацій, основні розрахунково-аналітичні й експертні методики побудови сценаріїв управління енергоефективністю установами на рівні галузі/регіону/установи.

Розуміння сфери послуг, в яку входять й освітня, створює значні проблеми через загалом обмежене охоплення даних і складність його різномірних типів будівель і категорій. Уявлення о індикативних показниках управління проектами енергоефективності матиме прямий вплив на загальне розуміння споживання муніципального сектора.

У той час як кінцеве споживання енергії в кожному регіоні або бюджетній сфері розраховується як добуток індексаторів (виробничих показників і контингентів, енергоємності виробничого процесу), енергоємність існуючої інфраструктури залежить від реалізації окремих проектів та програм, впровадження енергоефективного обладнання і рівня цін на енергію. Реальна потреба в коштах на оплату комунальних послуг та енергоносіїв перевищують встановленні державою ліміти. Хоча згідно з частиною 3 статті 51 Бюджетного кодексу України [568] бюджетна галузь повинна бути фінансуватися в першочерговому порядку, менеджери нижчого рівня не завжди об'єктивно враховують потребу в коштах (без врахуванням існуючого технічного стану тощо) та якісно прогнозують проект кошторису щодо розподілу бюджетних асигнувань на здійснення платежів адресно.

⁵⁶⁸ Бюджетний кодекс України від 08.07.2010 р. № 2456-VI. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17>.

Наукове видання

ЕКОЛОГООРІЄНТОВАНІ ПІДХОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ І СТВОРЕННЯ СТАЛИХ ЕКОСИСТЕМ

Колективна монографія

За заг. редакцією Т. О. Чайки

Комп'ютерна верстка – Т. О. Чайка
Дизайн обкладинки – А. О. Свешнікова, І. І. Лотиш

Рекомендовано до друку Вченою радою
Полтавського відділення академії наук
технологічної кібернетики України

Підписано до друку 15.04.2021 р.
Формат 60х84/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 26,27 Авт. арк. 24,47
Наклад 100 шт. Замовлення 2022-75

Видавництво ПП «Астроя»
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694
E-mail: astraya.pl.ua@gmail.com, веб-сайт: astraya.pl.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5599 від 19.09.2017 р.

Друк ПП «Астроя»
36014, м. Полтава, вул. Шведська, 20, кв. 4
Тел.: +38 (0532) 509-167, 611-694
Дата державної реєстрації та номер запису в ЄДР
14.12.1999 р. № 1 588 120 0000 010089