НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

НАУКОВІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ СІВОЗМІН В СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕРОБСТВА

Монографія

Видавництво
Інституту сільського господарства
Карпатського регіону НААН

2024

УДК 631.582:631.895:631.452

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН
(протокол № 6 від 6 вересня 2024 р.)

Авторський колектив:
Оксана КАЧМАР, Оксана ВАВРИНОВИЧ, Олександр ДУБИЦЬКИЙ, Ангеліна ДУБИЦЬКА, Марія ЩЕРБА, Олександр-Ярослав ПРОЦАЙЛО, Галина СКОРОХІД, Любов РОСТИНЮК

Рецензенти:
Олександра ВОЛОЩУК доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник відділу селекції сільськогосподарських культур
Любомир БУГРИН кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу кормовиробництва
Віктор ІВАНЮК кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агрохімії та ґрунтознавства Львівського національного університету природокористування

Наукові підходи до оптимізації сівозмін в сучасних системах землеробства: Монографія О. Качмар, О. Вавринович, О. Дубицький, А. Дубицька, М. Щерба, О-Я. Процайло, Г. Скорохід, Л. Ростинюк. Оброшине: Видавництво Інституту сільського господарства Карпатського регіону, 2024. 176 с.

ISBN 978-617-95314-4-6

На основі результатів фундаментальних і прикладних досліджень, проведених в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН, поглибленого аналізу досягнень вітчизняної та світової аграрної науки розкрито напрями підвищення продуктивності сівозмін, досягнення господарсько-корисного співвідношення між культурними рослинами і бур'янами; описано вплив раціональних екологічно безпечних систем удобрення із використанням як традиційних, так і альтернативних органічних складових на збалансованість поживного режиму та родючості ґрунту.

© Оксана Качмар, Оксана Вавринович, Олександр Дубицький, Ангеліна Дубицька, Марія Щерба, Олександр-Ярослав ПРОЦАЙЛО, Галина СКОРОХІД, Любов РОСТИНЮК 2024
© Видавництво Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП…… 4
1 Науково-методичні підходи до формування сівозмін в системах землеробства Карпатського регіону……... 10
2 Агрофізичні властивості сірого лісового ґрунту в коротко ротаційних сівозмінах……... 20
3 Поживний режим сірого лісового ґрунту в коротко ротаційних сівозмінах за органо-мінеральних систем удобрення……. 39
4 Азотний режим ґрунту в короткоротаційних сівозмінах за екологізованих систем удобрення …… 57
5 Вплив екологізованих систем удобрення на формування врожаю пшениці озимої та його якісної характеристики……. 70
6 Ферментативна активність і метаболічна регуляція асиміляції азоту в озимої пшениці за різних умов забезпечення поживними речовинами ……... 81
7 Управління забур'яненістю посівів сільськогосподарських культур у короткоротаційних сівозмінах…… 138

ВСТУП

Дослідницький напрям з розробки та вивчення ефективності сівозмін, найбільш раціонального розміщення в них зернових, технічних і кормових культур у Карпатському регіоні започатковано у 1952 році в науковому підрозділі «рільництво» тодішнього Науково-дослідного інституту землеробства і тваринництва західних районів УРСР (на даний час – Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН) виконанням тематики «Розробка агротехнічних основ побудови правильних польових сівозмін для колгоспів Західних областей УРСР» (1952–1965 рр.) під керівництвом старшого наукового співробітника, канд. с.-г. наук В. Г. Лапчука.

У відповідності до вимог часу та з врахуванням особливостей зональних ґрунтово-кліматичних умов було розроблено й здійснено закладання в польовому експериментальному полігоні восьми і десятипільні сівозміни з включенням кормових (кукурудза на силос, кормовий люпин на зелений корм, вико-вівсяна сумішка), просапних (картопля, цукровий буряк) культур. У таких сівозмінах вивчали ефективність висівання зернових культур після бобових. На відносно невисоких за інтенсивністю фонах удобрення (6 тонн гною і $N_{18}P_{19}K_{19}$ в розрахунку на гектар сівозмінної площі) отримано досить вагомі на той час рівні врожайності с.-г. культур: 35–36 т цукрових буряків, 23–25 т картоплі, 4,5–5,0 т зерна кукурудзи, 7,8–8,0 т сіна конюшини. Проводили наукове аналізування впливу чергування культур, систем удобрення на продуктивність сівозмін, родючість ґрунту, його мікробіологічний стан.

В 1964 році відділ землеробства очолив доктор с.-г. наук Дука В. І., людина з великим досвідом наукової та практичної діяльності, який більше п’яти років працював радником з питань сільського господарства при посольстві в Західній Німеччині (м. Бонн). Всебічне вивчення наукових питань побудови сівозмін, запровадження раціональних способів основного обробітку ґрунту та систем удобрення в різних ґрунтово-кліматичних умовах Західного

регіону були пріоритетними у формуванні тематики досліджень і проводились у стаціонарних дослідах.

У період 1966–1974 рр. з метою вирішення проблеми «Розробка наукових основ сівозмін в інтенсивному землеробстві» здійснюється вивчення тем: «Вивчення продуктивності сівозмін залежно від рівня удобрення на сірих опідзолених глеюватих ґрунтах Західного Лісостепу УРСР» й «Розробка агротехнічних основ побудови польових сівозмін в умова Прикарпаття».

В цей час наукові землеробські дослідження були націлені на розробку та вивчення сівозмін з насиченням проміжними, післяжнивними та кормовими культурами. Таку спрямованість сівозмін в значній мірі зумовив інтенсивний розвиток тваринництва. Проходило напрацювання знань щодо оптимізації водно-фізичного, агрохімічного, мікробіологічного стану ґрунтів залежно від прийомів і систем його основного обробітку та чергування культур. Значного розвитку набуло вивчення шляхів регулювання гербологічного стану посівів хімічними заходами боротьби з бур’янами.

Над вирішенням цих питань працювали канд. с.-г. наук: Лапчук Г. В., Галатович Є. М., Фурман П. М., Ковтун П. В., Давидів Й. С., Кулько К. Ф., Гутиря С. Т., Дука Л. В. В середині 70-их років дослідницьку спільноту поповнили талановиті молоді вчені: Шикітка В. Л., Єрмолаєва В. М., Габриєль А. Й., Дубицька А. О. Сформувався великий науковий колектив, збалансований за віковим і фаховим складом, який спеціалізувався на поглиблених дослідженнях сівозмін, вивченні агрохімічних, водно-фізичних, фізико-хімічних, мікробіологічних показників родючості ґрунту, фізіологічних та біохімічних процесів у рослинних організмах, фітопатологічних аспектів у агроценозах.

У зв’язку з широкомасштабними роботами з меліорації перезволожених земель у західному регіоні постала проблема ефективного залучення їх у активне сільськогосподарське виробництво шляхом розробки і впровадження науково обґрунтованих систем меліоративного землеробства.

В Інституті протягом 1973–1985 рр. під керівництвом канд. с.-г. наук З.М. Томашівського вивчали питання «Розробити раціональну систему удобрення і обробітку ґрунту у сівозмінах на осушених землях західних районів УРСР», завданням яких було підвищення продуктивності мінеральних і торфоболотних угідь. Велику увагу було приділено тривалості лучного і польового періодів у сівозмінах, а також рівнів удобрення при веденні аграрного виробництва на осушених торфо-болотних ґрунтах (відповідальний виконавець – канд. с.-г. наук Щепанкевич Е. І.). На осушених мінеральних ґрунтах пріоритетними були дослідження окультурення орного шару шляхом застосування вапнякових матеріалів у органо-мінеральних системах удобрення (відповідальний виконавець – канд.. с.-г. наук Пристайко В. М.). У 1976 р. на Передкарпатській с.-г. дослідній станції Інституту під керівництвом канд. с.-г. наук Яремка Р. С. виконували роботу «Вивчити продуктивність кормових сівозмін на осушених мінеральних ґрунтах з врахуванням спеціалізації господарств Передкарпаття», яка тривала до 1980 р.

Одночасно з цими дослідженнями у період 1976–1980 рр. в інституті під керівництвом Галатовича Є. М. проходила розробку важлива тема: «Вивчити продуктивність сівозмін з різним насиченням сільськогосподарських культур на фоні систем обробітку ґрунту і удобрення в західних районах УРСР», яка передбачала проведення досліджень в умовах Західного Лісостепу.

У зв’язку з тим, що науковий метод вимагає комплексності досліджень, врахування взаємодії всіх факторів, вчені приділяли значну увагу розробці цілісної теорії наукових підходів (побудова сівозмін, чергування культур, застосування систем удобрення та обробітку ґрунту) залежно від біологічних особливостей та потреб рослин у відповідності до рівня розвитку сільськогосподарської науки і всезростаючих потреб практики. Тому, одним із важливих розділів вищезазначеної тематики було «Вивчити вплив поєднання сівозмін, обробітку ґрунту і удобрення на показники родючості ґрунту, урожай і якість сільськогосподарських продукції в інтенсивному землеробстві західних районів УРСР».

Разом з вивченням науково-практичних питань запровадження інтенсивних сівозмін були проведені пошукові дослідження щодо сумісності колосових культур в сівозмінах з різним (100, 75 та 50 %) насиченням зерновими. Комплексний аналіз агрохімічних процесів в ґрунті та алелопатичних, фітопатологічних – у рослинах дав відповіді на ряд нагальних проблем землеробства. Одночасно було встановлено, що на фоні помірного застосування гербіцидів після окремих попередників культур у сівозміні оранку можливо замінити безполицевими обробітками.

З початком 80-тих років у землеробстві почали зароджувалися ідеї пошуку альтернативних шляхів зменшення тиску антропогенних чинників на ґрунт шляхом екологізації та біологізації всіх ланок рільництва. У цей час (1981–1985 рр.) в Інституті виконується тематика «Розробити прийоми обробітку ґрунту і чергування культур у сівозмінах для західних районів УРСР» для розкриття якої проводяться дослідження «Вивчити продуктивність спеціалізованих сівозмін і сумісність основних сільськогосподарських культур в умовах західних районів УРСР» (Західний Лісостеп) та «Вивчити продуктивність кормових сівозмін на осушених мінеральних ґрунтах з врахуванням спеціалізації господарств Передкарпаття», в процесі виконання яких акцентується увага на підвищенні родючості ґрунтів, ефективності удобрення сільськогосподарських культур та комплексного поєднання агротехнічних та хімічних методів боротьби з бур’янами як на староорних, так і на осушених землях Західного регіону. Науковими співробітниками Інституту було напрацьовано теоретичний матеріал та проведено експериментальні дослідження з цієї проблеми. Сільськогосподарським товаровиробникам запропоновано сівозміни з високим насиченням як просапними, так і зерновими культурами для забезпечення максимального виходу продукції та підвищення родючості ґрунтів.

Розвиток нових господарсько-організаційних структур на початку 90-х рр. у сфері сільськогосподарського виробництва, зокрема селянських фермерських господарств, викликав потребу адаптації наукових досліджень до тодішніх вимог товаровиробників,

насамперед, запровадження інноваційних підходів до формування сівозмін як організаційної моделі функціонування будь-якої системи землеробства. У цьому контексті в 1991–1995 рр. під керівництвом Дуки Л.В. в Інституті виконували завдання «Розробити сівозміни з високим насиченням основними культурами, які б забезпечували підвищення родючості ґрунтів і максимальний вихід продукції на гектар ріллі в нових умовах господарювання», а в 1996–2000 рр. – «Удосконалити і розробити зональні системи сівозмін, що забезпечать високу продуктивність культур та відтворення родючості ґрунту з урахуванням спеціалізації виробництва і різних форм власності на землю». В комплексних довготривалих стаціонарних дослідах проходило вивчення п'ятипільних сівозмін та аналізування їх впливу на родючість ґрунту, фітосанітарний стан та продуктивність сільськогосподарських культур. Досліджували також можливості включення сидеральних добрив, побічної продукції рослинництва в органо-мінеральні системи удобрення як альтернативи гною великої рогатої худоби.

З 2000 р. під керівництвом завідувача відділу землеробства і відтворення родючості ґрунтів, канд. с.-г. наук Качмар О. Й. проводяться фундаментальні наукові дослідження з розробки високопродуктивних екологічно безпечних природоохоронних систем землеробства, сформованих з врахуванням зональних ґрунтово-кліматичних та рельєфних особливостей (раціональної структури посівних площ, різноротаційних, науково обґрунтованих, різного рівня інтенсивності сівозмін, ґрунтоохоронних систем основного обробітку ґрунту, застосування збалансованих систем удобрення та захисту культур у сівозмінах). Центрове місце у цих дослідженнях приділяється розробці зональних екологічно збалансованих сівозмін.

Сівозміна розглядається не тільки як чергування культур, але і як багатокомпонентна система, яка функціонує відповідно до біологічних законів, екологічних закономірностей і рівноваг залежно від таких компонентів як удобрення рослин, способи обробітку

ґрунту, захист рослин від бур'янів, хвороб та шкідників і є складовою частиною природно-екологічних комплексів.

Пріоритетними дослідженнями було вивчення умов формування і сталого функціонування таких систем, зокрема виконувались фундаментальні завдання: у 2001–2005 рр. – «З врахуванням земельної реформи розробити системи сівозмін для господарств різної форми власності та спеціалізації з метою виробництва конкурентноспроможної продукції і збереження родючості ґрунтів Полісся і Лісостепу»; у 2006–2010 рр. – «Розробити короткоротаційні сівозміни з різним насиченням зерновими культурами для підвищення продуктивності та збереження родючості сірих лісових ґрунтів», у 2011–2015 рр. – «Встановити вплив короткоротаційних сівозмін з різним насиченням зерновими культурами на продуктивність культур і родючість ґрунту за різних систем удобрення». Вагому роль у цих дослідженнях відіграли молоді вчені, кандидати с.-г. наук Дубицький О. Л., Тимчишин І. М., Вавринович О. В., Іванюк В. Я., наукові співробітник Щерба М. М., Магоцька Л. В.

В дослідженнях останніх років збалансовані сівозміни розглядаються як агросистеми високого рівня організації та різного ступеня інтенсивності, які є складовою екологічно безпечних агроландшафтів. Ведеться пошук шляхів та напрямів управління їх продуктивністю. У цьому контексті протягом 2016–2022 рр. виконувалось фундаментальне завдання «Розробити наукові основи управління продуктивністю короткоротаційних сівозмін в умовах Карпатського регіону», а в даний час проводяться фундаментальні дослідження «Теоретичні основи управління продуктивним потенціалом короткоротаційних сівозмін на основі удосконалення структурно-функціональної організації агроценозів» з терміном виконання – 2021–2025 рр.

Перспективні дослідження Інституту нерозривно пов’язані з екологоадаптивними системами землеробства, розробкою та управлінням сівозмінами в умовах змін клімату для забезпечення продовольчої безпеки держави та збереження родючості ґрунтів.

РОЗДІЛ 1

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ФОРМУВАННЯ СІВОЗМІН В СИСТЕМАХ ЗЕМЛЕРОБСТВА КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Збалансоване використання ґрунтів, пошук шляхів управління, їх родючістю, заходів охорони та боротьби з деградацією мають надзвичайно важливе значення в сучасних умовах господарювання [1], [2], [3].

Базовою основою реалізації комплексу напрацьованих наукою стратегічних підходів та механізмів щодо ефективного використання земель сільськогосподарського призначення є науково обґрунтовані сівозміни.

Результати досліджень закордонних та вітчизняних учених свідчать про зростання ролі сівозмін як організуючої і функціональної моделі системи землеробства у розв'язанні основних проблем його розвитку – високої, сталої продуктивності сільськогосподарських культур при забезпеченні відтворення родючості ґрунтів, підвищення їх протиерозійної стійкості, зростання ефективності систем удобрення [4], [5].

Деформація сівозмін, розбалансування систем удобрення, які мають прояви в сучасному землеробстві призводять до активізації деструктивних процесів у ґрунтовому покриві, порушення ґрунтових процесів і режимів, концентраційних рівноваг та зниженні біопродуктивних функцій ґрунтів в цілому. Зокрема, при загальній тенденції до зростання кількості внесення мінеральних добрив об'єми застосування органічних продовжують знижуватись: за наближеними даними лише 3,1-4,5 % площ в Карпатському регіоні удобрюються

[1] Бойко П. І., Коваленко Н. П., Опара М. М. Ефективні різноротаційні сівозміни у сучасному землеробстві. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 3. С. 20–32.

[2] Gadzalo Ya. M., Kaminsky V. F., Saiko V. F. Crop rotations in agriculture of Ukraine. *Землеробство* : міжвід. темат. наук. зб. 2015. Вип. 1 С. 3–6.

[3] Формування сівозміни як засобу запобігання деградації та підвищення родючості грунтів Карпатського регіону / О. Й. Качмар та ін. *Землеробство* : міжвід. темат. наук. зб. 2018. Вип. 2. – С. 20–25.

[4] Єщенко В. О. Роль сівозмін у сучасному землеробстві. *Землеробство* : міжвід. темат. наук. зб. 2015. Вип. 1. С. 23–27

[5] Камінський В. Ф. Сівозміна як основа сталого землекористування та продовольчої безпеки України. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН».* 2015. Вип. 2. С. 3–13

органічними добривами. Баланс основних елементів живлення рослин залишається на від'ємних позначках. Збільшення кількості внесених мінеральних добрив без застосування гною зумовлює небезпеку додаткової мінералізації органічної речовини ґрунту [6], [7].

З огляду на особливості грунтово-кліматичних умов Карпатського регіону, його ресурсний та виробничий потенціал, специфіку ведення сільськогосподарського виробництва в системах рільництва найбільш ефективними є короткоротаційні сівозміни, орієнтовані на ринкову кон'юнктуру [8]. Визначальну роль у системі агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення продуктивності сівозмін, відтворенні родючості ґрунтів є комплексне використання органічних і мінеральних добрив, найбільший ефект від яких можна отримати при збереженні науково обґрунтованих способів їх застосування з врахуванням біологічних особливостей вирощуваної культури. В умовах зменшення обсягів внесення гною необхідно залучати в біологічний кругообіг в агроценозах побічну продукцію рослинництва й сидерацію як важливі заходи поповнення грунтового середовища органічною речовиною, ефективний захід активізації біологічних процесів, раціоналізації поживного режиму,покращення родючості грунту, а відтак підвищення рівня його біопродукування [9], [10].

Внаслідок багаторічних досліджень, проведених у довготривалих стаціонарних дослідах Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН (проводяться з 1952 року) розроблено високопродуктивні науково-обґрунтовані сівозміни та екологічно безпечні системи удобрення для впровадження в різних ґрунтово-кліматичних умовах Карпатського регіону в господарствах

[6] Дегодюк С. Е., Літвінова О. А., Боднар Ю. Д. Вплив тривалого застосування добрив у сівозміні на зміни потенційної і ефективної родючості сірого лісового ґрунту. *Землеробство* : міжвід. темат. наук. зб. 2016. Вип. 1. С. 43–48

[7] Ткаченко М. А., Літвінов Д. В. Продуктивність типових сівозмін Лісостепу залежно від інтенсивності агрономічного навантаження. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 22. С. 100–106

[8] Формування сівозміни як засобу запобігання деградації та підвищення родючості грунтів Карпатського регіону / О. Й. Качмар та ін. *Землеробство* : міжвід. темат. наук. зб. 2018. Вип. 2. – С. 20–25

[9] Бойко П. І., Коваленко Н. П., Опара М. М. Ефективні різноротаційні сівозміни у сучасному землеробстві. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 3. С. 20–32

[10] Цвей Я. П., Горобець А. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін в Лісостепу України. *Цукрові буряки.* 2006. № 6. С. 10–11

різної спеціалізації виробництва. Вони підвищують ефективність використання ріллі, забезпечують повну маневреність у розміщенні культур залежно від агроландшафтних чинників, повніше використовують біокліматичний потенціал, сприяють збереженню і відтворенню родючості ґрунтів. Шести-семипільні сівозміни розроблені для великих господарств та об'єднань. Для середніх та малих пропонуються динамічні чотири-п'ятипільні сівозміни з різним насиченням зерновими і просапними культурами, які дають можливість виробникам швидко реагувати на монетарний характер ринку, дотримуватись наукових принципів чергування і сумісності культур та забезпечують їх продуктивність на рівні 58-65 ц/га зернових одиниць.

В даний час (2011-2020 рр.) проводяться експериментальні дослідження з вивчення впливу на родючість ґрунту й продуктивність культур коротко ротаційних сівозмін, в основу удосконалених схем яких покладені наступні, обґрунтовані в Інституті сільського господарства Карпатського регіону й адаптовані до зональних особливостей території, наукові принципи:

1. Принцип спеціалізації: провідні культури визначають характер використання кращого попередника для них і подальшого науково обґрунтованого чергування культур у сівозміні.

2. Принцип біологічної сумісності. У сівозміні передбачено щорічну зміну культур з різних господарсько-біологічних груп.

3. Принцип періодичності передбачає необхідність дотримання часу, повернення однієї і тієї ж культури на попереднє місце вирощування. Для більшості культур цей період повернення не перевищує 2-3 роки, але в деяких –досягає 5-7 років.

4. Принцип альтернативності допускає (в межах існуючої сівозміни) можливість відмови від жорсткого дотримання схеми чергування культур та заміни їх близькоспорідненими видами з метою вищої їх адаптації до особливостей погодних умов вирощування.

5. Принцип адаптивності передбачає диференціацію сівозмін відповідно до конкретних категорій агроландшафтів – схилових, меліорованих, хімічно модифікованих.

6. Принцип маневреності асортиментом сортів і гібридів культур у сівозмінах залежно від ґрунтово-кліматичних умов, які повніше використовують біокліматичний потенціал, сприяють кращому збереженню і відтворенню родючості ґрунтів.

7. Принцип екологізації технологій вирощування сільськогосподарських культур у сівозмінах, який передбачає використання біологічного азоту, альтернативних органічних та органо-мінеральних добрив, виготовлених з використанням місцевих сировинних ресурсів, побічної продукції рослинництва, біопрепаратів.

8. Принцип ущільненого використання ріллі. Використання проміжних культур у сівозміні.

9. Принцип саморегуляції, який передбачає управління фіто санітарним станом посівів, чисельністю шкідливих організмів, насамперед, за рахунок активації біологічних механізмів в агроценозах.

10. Принцип господарської економічної доцільності передбачає впровадження сівозмін різної ротації та рівня інтенсифікації вирощування культур залежно від виробничо-ресурсного потенціалу товаровиробника.

Оскільки збалансовані сівозміни є агросистемами високого рівня організації, необхідною умовою функціонування екологічно безпечних агроландшафтів різного ступеня інтенсивності, то базовою основою при їх моделюванні обрано науково-обгрунтовані принципи гармонізації з природними ландшафтними системами:

1. Системний принцип. Сівозміна розглядається як багатокомпонентна система, яка функціонує відповідно до своїх законів, закономірностей, рівноваг залежно від таких компонентів як удобрення культур, способи обробітку ґрунту, захист рослин від бур'янів, хвороб та шкідників і є складовою частиною природно-екологічних комплексів.

2. Відповідність сівозмін ландшафтним ресурсам. Даний принцип вимагає гармонізації сівозмін та зональних особливостей території, рівня залягання ґрунтових вод, ступеня однорідності ґрунтового покриву та його агрохімічних і агрофізичних характеристик, суми активних і ефективних температур, кількості атмосферних опадів та їх розподілу впродовж вегетаційного періоду, технологічних особливостей вирощування сільськогосподарських культур, розташування щодо господарських споруд, шляхів сполучення та ін.

3. Плодозміна - суворе дотримання чергування зернових культур, багаторічних трав і просапних, тобто культур з різними біологічними особливостями і технологією вирощування, які відрізняються агрономічними, фізіологічними та іншими властивостями.

4. Гетерогенність посівів ускладнення конструкції фітокомпоненту за рахунок сортового і видового розмаїття культур, різних типів рослинності, зміни геометрії посівів, різноманітності організації їх у часі. Даний принцип реалізується внаслідок вирощування культур різної тривалості періоду розвитку і типів екоформ, різних сортів, неоднакового розміщення їх у часі і в просторі, застосування змішаних посівів, культур проміжних (озимих проміжних, післяукісних, післяжнивних, підсівних) посівів.

5. Речовинно-енергетична замкнутість забезпечення цілковитого або майже цілковитого повернення до системи біогенних елементів у складі основної і побічної продукції, запобігання розвиткові дисбалансових процесів у агроекосистемах.

6. Подовження тривалості функціонування. Збільшення тривалості періоду функціонування агрофітоценозів за рахунок його ущільнення вирощуванням культур проміжних посівів.

7. Оптимізація продуктивності агроекосистем. За даного принципу відсутня експлуатація культур нижче рівня їх біологічних можливостей, що могло б призвести до деградації ґрунтів, забруднення навколишнього середовища

8. Економне використання природних і антропогенних ресурсів.

9. Ґрунтозахисне і природоохоронне спрямування застосування таких технологій вирощування, які призводять до мінімальних втрат гумусу у сівозміні, запобігання забрудненню дренажних вод і сусідніх екосистем залишками добрив, пестицидів, солями важких металів, отримання екологічно достатньо чистої продукції.

Порядок чергування культур та нумерація сівозмін у досліді наступні: чотирипільні – зернова: горох – пшениця озима – пшениця озима – овес (1); зернова: горох – пшениця озима – кукурудза (зерно) – овес (2); зерно-кормова: конюшина лучна – пшениця озима – пшениця озима – ячмінь ярий + конюшина лучна (3); плодозмінна: конюшина лучна – пшениця озима – картопля – ячмінь ярий + конюшина лучна (4); зерно-просапна: гречка – пшениця озима – картопля – ячмінь ярий (5); п’ятипільні – зерно-просапні: кукурудза (на зелену масу) – пшениця озима – гречка – соя – пшениця озима (6); зерно-просапна: кукурудза (на зелену масу) – пшениця озима – ячмінь ярий – соя – пшениця озима (7); трипільні – зернова: пшениця озима – соя – пшениця озима (8); зернова: пшениця озима – кормові боби – пшениця озима (9). В традиційній системі удобрення на фоні гною (40 тонн один раз за ротацію сівозміни під просапні культури, а в 1 і 3 сівозмінах – під пшеницю озиму в повторних посівах) вносились мінеральні добрива в дозі: пшеницю озиму $N_{60}P_{90}K_{90}$, ячмінь ярий – $N_{60}P_{60}K_{60}$, овес – $N_{40}P_{40}K_{40}$, гречку – $N_{60}P_{60}K_{60}$, горох – $N_{45}P_{45}K_{45}$, сою і боби кормові – $N_{45}P_{45}K_{45}$, картоплю – $N_{90}P_{90}K_{90}$, кукурудзу – $N_{120}P_{100}K_{100}$. В альтернативній системі приполовинних дозах мінеральних добрив на фоні заорювання всієї побічної продукції вирощуваних культур один раз за ротацію висівали редьку олійну на сидерат в післяжнивних посівах (під ті ж культури, де в традиційній системі вносили гній, при цьому вносились повні дози мінерального живлення).

Було проведено комплекс експериментальних та розрахункових досліджень, на основі яких стало можливим зробити висновки щодо важливих чинників (сівозміна, удобрення) управління агроекосистемами, їх екологічної стійкості та ефективного функціонування.

Пріоритетним показником екологічно безпечного функціонування ґрунтових систем і режимів, стабільності їх функціонування є баланс елементів живлення рослин [11]. В наших дослідженнях балансові розрахунки (рис. 1) елементів живлення у сівозмінах на різних системах удобрення показали, що застосування на один гектар сівозмінної площі 8–10 т гною і мінеральних добрив в дозі $N_{45-69}P_{60-77}K_{60-77}$, а також зменшення їх кількості вдвічі за умови заорювання сидерату, побічної продукції забезпечує позитивний баланс азоту у всіх досліджуваних сівозмінах в межах від +23,9 – +43,3 кг/га (традиційна система) та +21,8 – 35,0 кг/га (альтернативна система).

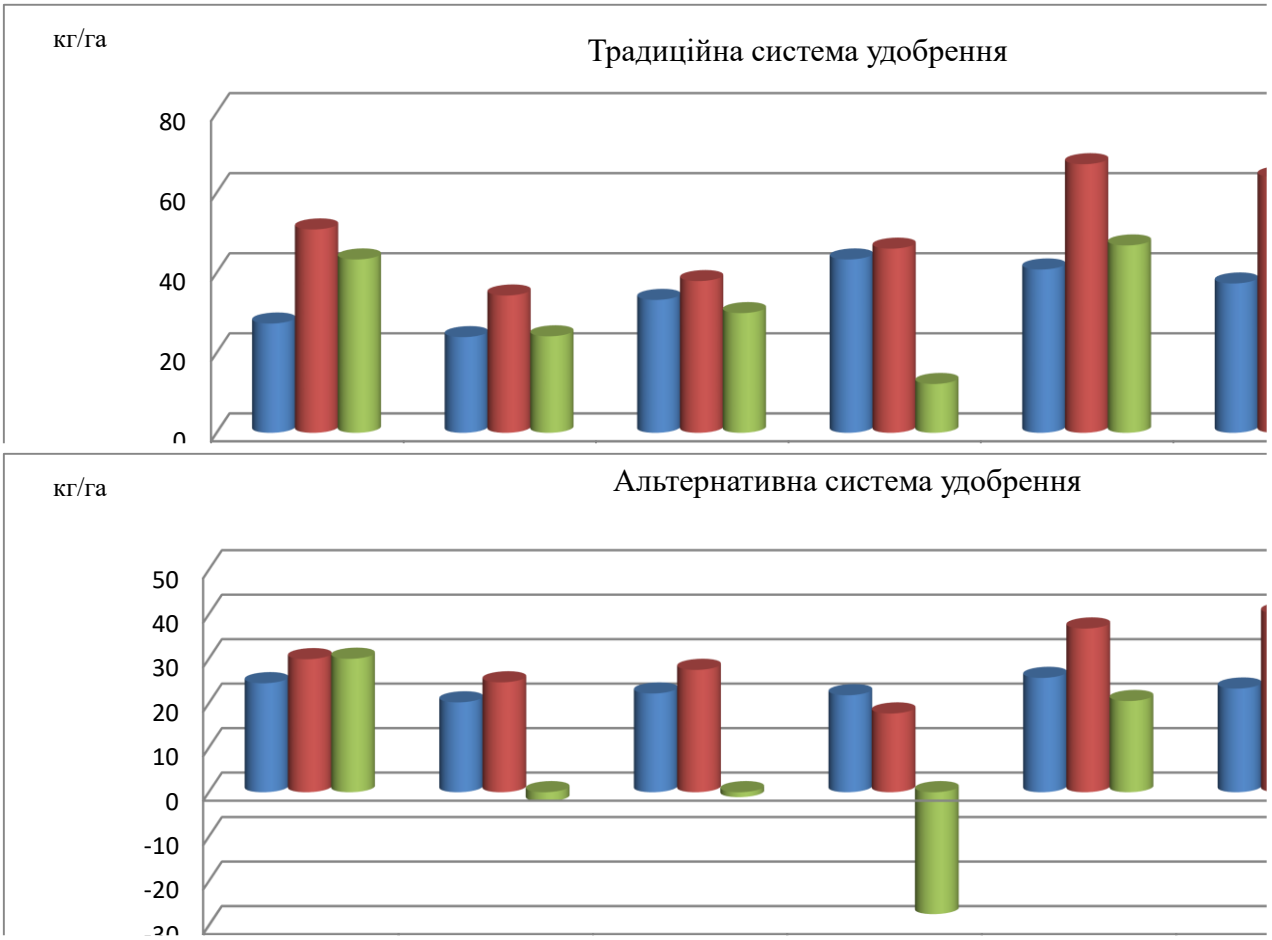


Рис. 1 – Баланс поживних речовин у сівозмінах, кг/га, 2016-2019 рр.

Примітка: Сівозміни: 1 – зернова (100 % н. з. к.), 2 – зернова (100 % н. з. к.), 3 – зерно-кормова (75 % н. з. к.), 4 – плодозмінна (50 % н. з. к.), 5 – зерно-просапна (75 % н. з. к.), 6 – зерно-просапна (80 % н. з. к.), 7 – зерно-просапна (80% н. з. к.).

[11] Дегодюк С. Е., Літвінова О. А., Кириченко А. В. Баланс поживних речовин за тривалого застосування добрив у зернопросапній сівозміні. *Вісник аграрної науки.* 2014. № 7 (737). С. 16–19

Найвищі показники нагромадження азоту відмічено у плодозмінній (+43,3кг/га), зерно-просапних (+37,3 – +43,8 кг/га) на варіанті традиційної системи удобрення. Найнижчі значення балансу азоту (+23,9 – +27,3 кг/га) були у зернових сівозмінах.

Позитивний баланс фосфору забезпечили усі застосовані системи удобрення по всіх досліджуваних сівозмінах. Найбільших значень цей показник набував на традиційних органо-мінеральних фонах зерно-просапних (+63,9 – +74,3 кг/га) сівозмін. Дещо нижчі його показники відмічались у зерновій (+50,8 кг/га), плодозмінній (+46,0 кг/га) і зерно-кормовій (37,9 кг/га) сівозмінах.

Високий рівень нагромадження калію спостерігався за сумісного застосування традиційних органічних та повних доз мінеральних добрив в обох п’ятипільних зерно-просапних: +52,4 +56,7 кг/га, зерновій (+43,3 кг/га) та зерно-просапній сівозмінах (+46,8 кг/га).

Ефективність сівозмін оцінюється за їх загальною продуктивністю [12], [13]. Дослідженнями встановлено, що найбільший вихід зерна та зернових одиниць отримано у зернових (горох – пшениця озима – пшениця озима – овес, горох – пшениця озима – кукурудза на зерно – пшениця озима) сівозмінах при застосуванні на гектар сівозмінної площі 10 т/га гною у поєднанні з мінеральними добривами у дозах $N_{51,2\text{-}62,2}P_{66,2\text{-}68,7}K_{66,2\text{-}68,7}$ (4,27-4,64 т/га й 4,27-4,59 т/га). Із зменшенням частки зернових у структурі сівозмін вихід зерна і зернових одиниць зменшувався і у п’ятипільних зерно-просапних (зерно-просапні: кукурудза (на зелену масу) – пшениця озима – гречка – соя – пшениця озима та кукурудза (на зелену масу) – пшениця озима – ячмінь ярий – соя – пшениця озима) при внесенні 8 т/га гною в поєднанні з $N_{69,0}P_{77,0}K_{77,0}$ складали 2,67-3,04 і 3,16-3,59 т/га. Найнижчими ці показники були в плодозмінній сівозміні (конюшина лучна – пшениця озима – картопля – ячмінь ярий +

[12] Ткаченко М. А., Літвінов Д. В. Продуктивність типових сівозмін Лісостепу залежно від інтенсивності агрономічного навантаження. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2014. Вип. 22. С. 100–106

[13] Цвей Я. П., Горобець А. М. Продуктивність короткоротаційних сівозмін в Лісостепу України. *Цукрові буряки.* 2006. № 6. С. 10–11

конюшина лучна) і призастосуванні 10 т/га гною й $N_{52,5}P_{60,0}K_{60,0}$ становили 2,23 й 3,45 т/га (табл. 1).

Таблиця 1

Продуктивність різноротаційних сівозмін (середнє за 2016-2019 рр.)

Номер та вид сівозміни	Системи удобрення, на 1 га сівозмінної площі	Вихід, т/га			
		всього зерна	зернових одиниць	кормових одиниць	перетравного протеїну
1. зернова	Без добрив (контроль)	2,23	2,38	2,70	0,32
	Гній 10 т, $N_{51,2}P_{66,2}K_{66,2}$	4,27	4,27	4,92	0,50
	$N_{33,1}P_{44,4}K_{44,4}$	3,40	3,40	3,96	0,40
2. зернова	Без добрив (контроль)	2,77	2,79	3,33	0,30
	Гній 10 т, $N_{62,2}P_{68,7}K_{68,7}$	4,64	4,59	5,64	0,49
	$N_{48,1}P_{46,9}K_{46,9}$	3,81	3,81	4,58	0,40
3. зерно-кормова	Без добрив (контроль)	1,86	1,79	4,41	0,45
	Гній 10 т,$N_{45,0}P_{60,0}K_{60,0}$	3,59	3,42	6,90	0,68
	$N_{30,0}P_{41,2}K_{41,2}$	2,84	2,69	5,82	0,58
4. плодо-змінна	Без добрив (контроль)	1,3	1,79	4,59	0,44
	Гній 10 т, $N_{52,5}P_{60,0}K_{60,0}$	2,23	3,45	7,20	0,64
	$N_{37,5}P_{41,2}K_{41,2}$	1,75	2,77	6,12	0,54
5. зерно-просапна	Без добрив (контроль)	1,57	2,15	2,69	0,19
	Гній 10 т, $N_{67,5}P_{75,0}K_{75,0}$	2,60	3,82	4,68	0,34
	$N_{45,0}P_{48,7}K_{48,7}$	2,07	3,14	3,76	0,27
6. зерно-просапна	Без добрив (контроль)	1,80	1,94	3,12	0,29
	Гній 8 т, $N_{69,0}P_{77,0}K_{77,0}$	3,04	3,16	5,36	0,48
	$N_{46,5}P_{48,5}K_{48,5}$	2,40	2,77	4,29	0,39
7. зерно-просапна	Без добрив (контроль)	1,65	1,94	2,75	0,28
	Гній 8 т, $N_{69,0}P_{77,0}K_{77,0}$	2,67	3,59	4,69	0,46
	$N_{46,5}P_{48,5}K_{48,5}$	2,09	2,47	3,75	1,37

Максимальний вихід кормових одиниць та перетравного протеїну отримано в плодозмінній (конюшина лучна – пшениця озима – картопля – ячмінь ярий + конюшина лучна) при внесенні $N_{52,5}P_{60,0}K_{60,0}$ + 10 т/га гною – 7,20 й 0,64 т/га і зерно-кормовій (конюшина лучна – пшениця озима – пшениця озима – ячмінь ярий + конюшина лучна) на варіанті $N_{45,0}P_{60,0}K_{60,0}$ + 10 т/га гною відповідно 6,90 й 0,68 т/га сівозмінах.

ВИСНОВКИ:

Розробка коротко ротаційних сівозмін на основі науково обґрунтованих принципів до їх формування сприяє високій продуктивності сільськогосподарських культур та збереженню й відтворенню родючості ґрунтів.

Найбільший вихід зерна та зернових одиниць забезпечується у зернових (горох – пшениця озима – пшениця озима – овес, горох – пшениця озима – кукурудза на зерно – пшениця озима) сівозмінах при застосуванні на гектар сівозмінної площі 10 т/га гною у поєднанні з мінеральними добривами у дозах $N_{51,2\text{-}62,2}P_{66,2\text{-}68,7}K_{66,2\text{-}68,7}$ (4,27-4,64 т/га й 4,27-4,59 т/га).

Внесення на один гектар сівозмінної площі 8-10 т гною і мінеральних добрив в дозі $N_{45\text{-}69}P_{60\text{-}77}K_{60\text{-}77}$, а також зменшення їх кількості вдвічі за умови заорювання сидерату, побічної продукції, формує позитивний баланс азоту у сівозмінах в межах від +23,9 – +43,3 кг/га. Найбільших значень показник рухомого фосфору набуває на традиційних органо-мінеральних фонах зерно-просапних (+63,9 – +74,3 кг/га) сівозмін. Високий рівень нагромадження калію спостерігається за сумісного внесення гною та повних доз мінеральних добрив в п’ятипільних зерно-просапних сівозмінах на рівні: +52,4 +56,7 кг/га.

РОЗДІЛ 2

АГРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ В КОРОТКО РОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІНАХ

Агрофізичні показники родючості ґрунту є важливою складовою в системі чинників, які формують середовище росту, розвитку й біопродукування сільськогосподарських культур. Досягнення оптимальних їх значень в кореневмісному пласті в повному обсязі забезпечує потреби рослин у воді, повітрі й теплі [14, 15]. За таких умов повніше використовується потенційний запас поживних речовин із ґрунтових ресурсів, органічних добрив, максимально реалізуються можливості мінеральних удобрюваних комплексів, компонентів-регуляторів ґрунтової кислотності й біологічної активності [16, 17, 18].

Проблема забезпечення процесів оптимізації агрофізичних показників родючості ґрунту в сучасних умовах набуває особливого значення ще й в контексті кліматичних змін. Підвищений температурний режим, нерівномірність розподілу опадів протягом вегетації рослин, поява бездощових періодів, які в Карпатському регіоні в останні роки припадають на час максимального водоспоживання більшості сільськогосподарських культур, спричиняє зниження запасів продуктивної вологи в ґрунті та зміщує значення їх параметрів за межі інтервалу оптимальних значень, а іноді навіть знижує до критичних позначок. Це призводить до порушення концентраційних рівноваг у ґрунтових розчинах, спричиняє процеси падіння рухомості поживних елементів, зменшує надходження вологи та елементів живлення в рослинний організм,

[14] Барвінський А. В. Фізичні властивості ґрунтів як важлива складова оцінки якості земель. *Агрохімія і ґрунтознавство.* 2007. Вип. 67. С. 35–42.

[15] Малієнко А. М., Скурятін Ю. М. Агрофізична концепція редукції продуктивності перелогів на сірому лісовому ґрунті. *Вісник аграрної науки.* 2006. № 2. С. 15–18.

[16] Уваренко К. Ю. Вологість і щільність ґрунту як фактори ефективності мінеральних добрив. *Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства:* матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Тернопіль: Крок, 2015. С. 142–143.

[17] Пліско І. В., Уваренко К. Ю. Вплив агрофізичних параметрів чорнозему на ефективність азотних добрив при вирощуванні ячменю ярого. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2016. Вип. 20. С. 220–230.

[18] Медведев В., Липець Є., Линдина Т. Вплив щільності ґрунту на засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів. *Вісник аграрної науки.* 2002. № 5. С. 11–15.

провокує виникнення фітоценотичних стресових ситуацій в посівах [19, 20, 21, 22].

Важливими чинниками раціоналізації агрофізичних показників ґрунту виступають науково обґрунтовані сівозміни та системи удобрення. Сівозміна сприяє поліпшенню і підтримку сприятливих водно-фізичних властивостей, поповненню й кращому використанню поживних речовин з ґрунту і добрив, слугує засобом попередження розповсюдження бур'янів, хвороб і шкідників, забезпечує підвищення врожайності сільськогосподарських культур [23, 24].

Тільки в умовах науково обґрунтованих сівозмін, за раціонального чергування та удобрення культур із застосуванням побічної продукції рослинництва, сидератів можна досягнути спрямованого регулювання водного режиму, щільності ґрунтового середовища в системі «ґрунт – рослина», де використання рослинами вологи поєднується з подальшим відновленням її запасів у відповідних шарах ґрунту [25, 26, 27, 28].

Динаміка польової та запасів продуктивної вологи в ґрунті в короткоротаційних сівозмінах за різних систем удобрення

Для ефективного ведення сільськогосподарського виробництва вологість ґрунту має надзвичайно важливе значення. Вона одним із факторів ґрунтоутворення й процесів вивітрювання мінералів, важливим чинником гумусоутворення. Під її впливом проходить

[19] Чередниченко І. В. Агрофізичні показники чорнозему типового за різних систем удобрення. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2015. № 1. С. 113–117.

[20] Moraru P., Rusu T. Effect of tillage systems on soil moisture, soil temperature, soil respiration and production of wheat, maize and soybean crops. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2012. Vol. 10 (2). P. 445–448.

[21] Barbosa, L. R., Diaz, O., Barber, R. G. Effects of deep tillage on soil properties, growth and yield of soya in a compacted ustochrept in Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research*. 1989. Vol. 15 (1–2). P. 51–63.

[22] . Hamza, M. A., Anderson, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*. 2005. Vol. 82(2). P. 121–145.

[23] Бойко П. І. Коваленко Н. П., Опара М. М. Ефективні різноротаційні сівозміни у сучасному землеробстві. *Вісник полтавської державної академії*. 2014. № 3. С. 20–32.

[24] Камінський В. Ф., Бойко П. І. Роль сівозмін у сучасному землеробстві. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 6. С. 5–9.

[25] Єрмолаєв М. М., Шиліна Л. І., Літвінов Д. В. Закономірності формування водного режиму в сівозмінах на чорноземах Лісостепу Лівобережного. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 6. С. 13–17.

[26] Літвінов Д. В. Формування водного режиму ґрунту в системі короткоротаційних сівозмін. *Вісник аграрної науки.* 2015. – №11. – С. 13–18.

[27] Шаповал І. С. Водний режим ґрунту залежно від насичення сівозмін зерновими культурами. *Зб. наук. пр. Інту землеробства УААН*. 2002. Вип. 1. С. 44–47.

[28] Вплив щільності складення ґрунту на урожайність сільськогосподарських культур за різних систем обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах / Г. З. Тимошенко та ін. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 66. С. 82–85.

формування ґрунтового профілю; регулювання температури ґрунту. Усі фізичні і хімічні процеси в ґрунтовому середовищі відбуваються за участю води. Вона є потужною транспортною геохімічною системою, яка сприяє переміщенню речовин у рослинних організмах та забезпечує їх життєздатність. Через нестачу вологи нівелюється позитивний вплив добрив, обробітку ґрунту та інших засобів агротехніки. Тому регулювання водного режиму – одне з найважливіших завдань землеробства [29, 30, 31, 32, 33].

Дослідження динаміки польової та запасів продуктивної вологи в ґрунті впродовж вегетації сільськогосподарських культур виконувались в умовах експериментального полігону, який внесений до Реєстру стаціонарних дослідів України (номер атестата – 053). Він був закладений в 2001 р. на сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті.

Вивчались 9 польових коротко ротаційних сівозмін із насиченням зерновими культурами від 50 до 100 % (горох-пшениця озима-пшениця озима-овес, горох-пшениця озима-кукурудза на зерно-овес, конюшина лучна-пшениця озима-пшениця озима-ячмінь ярий, конюшина лучна-пшениця озима-картопля-ячмінь ярий, гречка-пшениця озима-картопля-ячмінь ярий, кукурудза на зелену масу - пшениця озима-ячмінь ярий-соя-пшениця озима, кукурудза на зелену масу-пшениця озима-гречка-соя-пшениця озима, пшениця озима-соя-пшениця озима, пшениця озима-боби кормові-пшениця озима.

В чотири- та п’ятипільних сівозмінах застосовувались традиційні (поєднання мінеральних добрив і гною) та альтернативні (компонування половинних доз мінеральних добрив, соломи й

[29] Вплив систем основного обробітку й удобрення на водно-фізичні властивості сірого лісового ґрунту та врожай вико-вівса / Качмар О. Й. та ін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. Вип. 58. Ч. 1. 2015. С. 107–118.

[30] Кудря С. І., Кудря Н. А. Вплив зернобобових попередників на запаси вологи в ґрунті та урожайність пшениці озимої в умовах лівобережної частини Лісостепу України. *Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН*. 2009. № 36. С. 32–35.

[31] Вплив антропогенних і природних факторів на твердість ґрунту, волого споживання та продуктивність культур Полтавщини / Л. Д. Глущенко та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 3. С. 35–38.

[32] Dexter A. R. Theory, effects of soil texture, density and organic matter, and effects on root growth. Geoderma. *Soil physical quality. Part I.* 2006. No 120. P. 201–214.

[33] Yapa L., Fritton D., Willatt S. Effect of soil stren т gth on root growth under different water conditions. *Plant and soil.* 1988. Vol. 109, № 1. P. 9–16.

пожнивних сидератів) органо-мінеральні системи удобрення, в трипільних практикувалось внесення самих мінеральних складових. Контролем слугували варіанти без внесення добрив.

В даній роботі висвітлено результати досліджень агрофізичних показників сірого лісового ґрунту під озимою та ярою зерновими (пшениця озима та ячмінь ярий), зернобобовою (горох) та просапною (картопля) культурами, вирощуваних в короткоротаційних сівозмінах на різних удобрюваних фонах.

Формування вологозапасів у сівозмінах є динамічним показником, воно залежить від загальної кількості атмосферних опадів та їх розподілу впродовж вегетації, температурного режиму, складу і співвідношення культур, фаз розвитку рослин, рівня мінерального живлення.

Дослідженнями, проведеними впродовж вегетації пшениці озимої встановлено, що на час появи її сходів польова вологість в орному шарі знаходились в межах 15,4-21,5 %, в підорному 17,1-23,1 %, запаси продуктивної вологи складали відповідно 26,8-37,3 та 33,6-43,0 мм поступово збільшуючись униз за профілем (табл. 1).

Таблиця 1

Вміст польової (%) і запас продуктивної (мм) вологи в ґрунті впродовж вегетації пшениці озимої, 2016–2020 рр.

№ сівозміни	Вид сівозміни, варіант удобрення	Шар ґрунту, см	Період визначення							
			сходи		відновлення вегетації		колосіння		повна стиглість	
			%	мм	%	мм	%	мм	%	мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	*Зернова, попередник горох (100 % н. з. к.)*									
	контроль	0-20	18,4	31,5	20,5	39,8	16,3	33,8	18,3	34,6
		20-40	20,1	37,8	22,7	48,6	17,5	37,5	19,8	36,0
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	20,2	35,4	22,0	42,1	17,3	36,1	19,6	37,0
		20-40	22,0	41,4	23,8	50,6	18,6	39,5	21,2	38,8
	$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0-20	19,0	32,8	21,3	41,6	16,8	34,7	19,0	35,8
		20-40	20,7	39,8	23,2	49,5	18,0	38,7	20,4	37,4

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	*Зернова, попередник пшениця озима (100 % н. з. к.)*									
	контроль	0-20	19,0	32,7	21,1	40,5	16,8	34,5	19,7	36,4
		20-40	20,7	38,9	23,7	49,1	18,0	38,0	21,4	38,6
	Гній, 40 т/га + $N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	21,0	36,6	22,8	43,2	17,7	37,0	21,6	38,8
		20-40	22,6	42,3	24,7	51,0	19,0	40,8	23,5	41,1
	Сидерат + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	0-20	19,4	33,8	22,0	42,4	17,2	35,8	20,7	37,5
		20-40	21,2	41,0	24,1	50,2	18,6	39,5	22,4	40,0
2	*Зернова, попередник горох (100 % н. з. к.)*									
	Контроль	0-20	18,0	30,5	20,1	39,2	16,0	33,1	17,7	34,0
		20-40	19,7	36,7	22,3	48,0	17,5	37,0	19,3	35,5
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	19,5	34,2	21,6	41,5	17,1	35,5	18,6	36,2
		20-40	21,5	40,3	23,5	49,7	18,5	38,9	20,8	38,2
	$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0-20	18,6	32,0	20,8	41,1	16,7	34,1	18,0	35,1
		20-40	20,1	38,9	23,0	48,7	18,0	38,1	20,0	36,8
3	*Зерно-кормова, попередник конюшина на з.м.(75 % н. з. к.)*									
	контроль	0-20	17,4	29,1	22,1	41,7	17,7	35,6	19,3	35,8
		20-40	19,0	35,8	25,0	50,8	18,9	39,0	21,0	38,0
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	19,1	32,6	23,8	43,8	18,8	38,2	20,8	38,1
		20-40	21,0	39,7	26,7	52,8	20,0	42,0	23,0	40,6
	$N_{30}P_{45}K_{45}$	0-20	18,0	30,8	23,1	42,7	18,1	37,0	20,0	37,0
		20-40	19,6	37,0	26,0	51,7	19,6	40,5	21,8	39,3
3	*Зерно-кормова, попередник пшениця озима (75 % н. з. к.)*									
	контроль	0-20	19,4	33,5	21,6	41,0	17,2	35,0	20,3	37,0
		20-40	21,1	39,6	24,5	49,7	18,9	38,4	21,9	39,4
	Гній, 40 т/га + $N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	21,5	37,3	23,3	44,1	18,1	37,5	22,3	40,0
		20-40	23,1	43,0	26,0	52,0	19,5	41,4	24,2	42,3
	Сидерат + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	0-20	19,8	34,7	22,7	43,2	17,7	36,3	21,4	38,4
		20-40	21,7	41,5	25,2	51,3	19,0	40,0	23,0	41,0
4	*Плодозмінна, попередник конюшина на з. м. (50 % н. з. к.)*									
	контроль	0-20	16,9	28,6	22,8	42,5	18,0	36,2	18,8	35,1
		20-40	18,6	35,2	25,6	51,7	19,5	40,1	20,4	37,3
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	18,6	31,8	24,0	44,2	19,5	39,0	20,1	37,6
		20-40	20,5	39,0	26,9	53,5	20,7	42,8	22,0	39,8
	$N_{30}P_{45}K_{45}$	0-20	17,5	30,2	23,3	43,5	18,7	37,7	19,5	36,5
		20-40	19.0	36,4	26,2	52,4	20,0	41,4	21,0	38,6

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	*Зерно-просапна, попередник гречка (75 % н. з. к., 25 % просапник)*									
	Контроль	0–20	16,4	27,8	19,7	38,0	15,7	32,0	17,3	33,0
		20–40	18,0	34,7	22,0	47,1	17,0	36,2	18,8	34,8
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0–20	18,1	31,4	21,2	40,7	17,0	34,8	18,4	35,0
		20–40	19,8	38,1	23,1	48,8	18,1	38,0	20,0	37,1
	$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0–20	17,0	29,5	20,7	40,2	16,4	33,2	17,8	33,8
		20–40	18,5	36,0	22,5	47,9	17,4	37,5	19,1	36,0
6	*Зернова, попередник кукурудза на зелену масу (80 % н. з. к., 20 % зернобобових)*									
	контроль	0-20	15,4	26,8	19,1	37,0	14,6	30,9	16,2	31,6
		20-40	17,1	33,6	20,9	45,2	16,0	34,6	17,8	32,5
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	16,9	29,8	20,3	39,0	16,0	32,7	17,3	32,8
		20-40	18,7	36,3	22,2	46,8	17,0	36,8	18,9	34,7
	$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0-20	16,1	28,2	19,5	38,0	15,4	31,1	16,8	32,2
		20-40	17,7	34,4	21,6	46,0	16,6	35,5	18,4	33,6
7	*Зерно-просапна, попередник соя (80 % н. з. к., 20 % зернобобових)*									
	контроль	0-20	15,8	27,4	19,5	37,7	15,0	31,3	16,8	32.7
		20-40	17,5	34,4	21,4	46,2	16,6	35,2	18,4	33,7
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	17,3	30,8	20,8	39,8	16,4	33,6	18,0	34,0
		20-40	19,2	37,5	22,6	48,0	17,5	37,1	19,5	36,0
	$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0-20	17,6	29,1	20,3	39,1	15,7	32,3	17,3	33,3
		20-40	18,0	35,6	22,1	47,0	17,0	36,6	18,7	35,1
8	*Зернова, попередник соя (66 % н. з. к., 33 зернобобових)*									
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	16,4	28,8	21,0	41,2	17,3	32,9	17,4	34,5
		20-40	17,7	34,2	22,6	48,7	18,5	38,3	19,4	42,0
9	*Зернова, попередник пшениця озима (66 % н. з. к., 33 % зернобобових)*									
	$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	17,3	30,7	21,6	42,1	17,8	33,7	18,0	35,8
		20-40	19,0	37,7	23,3	49,8	19,1	39,1	20,0	43,5

Примітка. П. п. – побічна продукція; н. з. к. – насичення зерновими культурами.

Внаслідок накопичення в ґрунті опадів за осінньо-зимовий, на час відновлення вегетації рослин пшениці озимої за варіантами досліду спостерігалось 19,1-24,0 % польової й 37,0-44,2 мм продуктивної вологи в орному і 20,9-26,9 % та 45,2-53,5 мм підорному пластах. Найбільший приріст вологи за зиму був за використання органо-мінеральної системи (гній 40 т/га + $N_{60}P_{90}K_{90}$). Починаючи з відновлення вегетації навесні підвищуються витрати вологи рослинами на транспірацію, утворення вегетативної маси та формування урожаю.

Найбільш критичним за потребами у волозі у зернових культур є період від виходу в трубку до колосіння. У цей час відбувається найбільший приріст вегетативної маси, формуються органи плодоношення. В наших дослідженнях у середньому за п’ять років спостережень у фазі колосіння пшениці озимої вміст польової вологи знаходився на рівні 14,6-19,5 %, продуктивної в межах 30,9-39,0 мм у верхньому (0-20 см), й 16,0-20,7 % та 34,6-42,8 мм у нижньому шарі ґрунту.

В період повної стиглості значення вологості ґрунту варіювало в орному і підорному шарах відповідно – 16,2-22,3 % та 31,6-40,0 мм і 17,8-24,2 % та 32,5-42,3 мм.

На запаси продуктивної вологи в ґрунті значний вплив проявляли попередники, що пояснюється різною тривалістю післязбирального періоду та накопичення вологи до посіву пшениці озимої. На контрольних варіантах без внесення добрив вищі запаси польової (19,0-19,4 %) та продуктивної (32,7-33,5 мм) вологи в орному шарі були після пшениці озимої. Менші значення зафіксовано після гороху – 18,0-18,4 % й 30,8-31,5 мм. Найнижчими вони були після сої – 15,8 % й 27,4 мм та кукурудзи на зелену масу – 15,4 % й 26,8 мм. Різниця у кількості вологи в ґрунті після різних попередників спостерігалась тільки в період припинення осінньої вегетації рослин. Проте весною, внаслідок акумуляції опадів в зимовий період, показники вологості в ґрунті практично вирівнювались.

Значний вплив на вологозапаси ґрунту проявляли системи удобрення. Найвищі показники продуктивної вологи формувались при органо-мінеральній системі удобрення і складали на час сходів культури залежно від сівозміни і попередника 29,8-37,3 мм, на час повної стиглості – 32,8-40,0 мм. Дещо нижчими вони були за альтернативної системи удобрення і складали за фазами вегетації культури 28,2-34,7 та 32,2-38,4 мм.

Таким чином вплив систем удобрення на вологість та волого запаси ґрунту був значно більшим за вплив попередників і тривалість

його поширювалась на весь вегетаційний період пшениці озимої сприяючи формуванню вищого рівня врожайності (табл. 1).

Вивчення змін показників вмісту польової та запасів продуктивної вологи в посівах ячменю ярого проводились у зерно кормовій і плодозмінній сівозмінах після попередників пшениця озима і картопля. Встановлено, що в усі роки досліджень значення вологості ґрунту на початку вегетації культури знаходились на достатньому рівні, що сприяло отриманню дружніх сходів. Середні за 2016-2020 рр. показники польової вологи в 0-20 см шарі ґрунту на неудобрених варіантах складали 16,4-17,0 % , продуктивної 31,0-32,5 мм, в 20-40 см пласті відповідно 18,0-18,4 % й 36,3-37,1 мм і практично не залежали від попередників. Застосування традиційних органо-мінеральних систем удобрення, які під ячмінь ярий передбачали внесення мінеральних добрив в дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$ і післядію гною сприяло нагромадженню вологості, показники якої складали після різних попередників 18,1-19,0 % та 34,0-35,1 мм. На варіантах альтернативних систем з мінеральним фоном $N_{30}P_{30}K_{30}$ та поєднанням його в зерно-кормовій сівозміні з соломою пшениці озимої як попередника культури відповідно 17,5-18,3 % та 33,1-34,0 мм в орному шарі (табл. 2).

У фазі колосіння рослин середні за роки досліджень вологозапаси ґрунту були вищі, що пов’язано з надмірною кількістю опадів які випадають в останні роки у травні. Тому, в орному шарі (0-20 см) польова вологість на контрольному варіанті (без добрив) складала 17,6-18,2 %, продуктивна 33,7-35,3 мм, у нижньому (20-40 см) відповідно 18,7-19,3 % і 37,3-38,4 мм.

Застосування органо-мінеральних систем забезпечувало зростання запасів продуктивної вологи на 5,1-5,9 % (традиційна система) і 3,3-3,7 % (альтернативна система) порівняно до неудобреного варіанта в шарі ґрунту 0-20 і на 7,5-7,8 та 6,2-6,5 % в пласті 20-40 см.

До фази повної стиглості культури польова вологість ґрунту знижувалась внаслідок настання бездощового в останні роки періоду, який припадає зазвичай на другу декаду червня і триває до третьої

декади серпня. Запаси продуктивної вологи були в межах 27,7-29,5 мм (0-20 см) і 33,5-34,7 мм (20-40 см) на неудобрених фонах і в межах 31,1-33,7 та 34,7-38,7 мм по пластах варіантів удобрення.

Таблиця 2

Вміст польової (%) та запас продуктивної вологи (мм) в ґрунті впродовж вегетації ячменю ярого, 2016-2020 рр.

№ сівозміни	Вид сівозміни, варіант удобрення	Шар ґрунту, см	Період визначення					
			сходи		колосіння		повна стиглість	
			%	мм	%	мм	%	мм
Зерно-кормова, попередник пшениця озима (75 % н. з. к.)								
3	контроль	0–20	17,0	32,5	18,2	35,3	15,3	29,5
		20–40	18,4	37,1	19,3	38,4	16,9	34,7
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0–20	19,0	35,1	20,1	37,1	17,6	33,7
		20–40	20,1	40,4	21,8	41,4	18,8	38,7
	$N_{30}P_{30}K_{30}$ + п. п.	0–20	18,3	34,0	18,9	36,6	16,5	32,1
		20–40	19,4	39,0	20,0	40,9	17,7	35,6
Плодозмінна, попередник картопля (50 % н. з. к.)								
4	контроль	0–20	16,4	31,0	17,6	33,7	14,5	27,7
		20–40	18,0	36,3	18,7	37,3	16,0	33,5
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0–20	18,1	34,0	19,0	35,7	16,8	32,8
		20–40	19,5	39,2	20,4	40,1	18,1	36,8
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	0–20	17,5	33,1	18,1	34,8	15,7	31,1
		20–40	18,9	38,6	19,6	39,6	17,0	34,7

Моніторинг вологості ґрунту під посівами гороху показав, що на час появи сходів її запаси у 0-20 см шарі становили: польової 15,5 %, продуктивної – 28,0 мм. Ці показники зростали із глибиною відбору зразків і в шарі 20-40 см складали 17,0 % та 33,2 мм (табл. 3). Системи удобрення забезпечували вищий рівень волого нагромадження. На варіантах альтернативної системи за внесення під культуру мінеральних добрив в дозі $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$ на солом'яних фонах значення вологості відповідно по шарах ґрунту були на рівні 16,1-17,1 % і 28,7-34,0 мм. Застосування $N_{45}P_{45}K_{45}$ в традиційній системі удобрення забезпечувало зростання цих показників до 16,8-18,6 % і 30,0-35,1 мм.

Таблиця 3

Вміст польової (%) та запас продуктивної вологи (мм) в ґрунті впродовж вегетації гороху, 2016-2020 рр.

№ сівозміни	Вид сівозміни, варіант удобрення	Шар ґрунту, см	Період визначення					
			сходи		цвітіння		повна стиглість	
			%	мм	%	мм	%	мм
Зернова, попередник овес (100 % н. з. к.)								
1	контроль	0–20	15,5	28,0	17,3	34,9	14,7	25,7
		20–40	17,0	33,2	18,0	40,1	16,7	34,3
	$N_{45}P_{45}K_{45}$	0–20	16,8	30,0	18,8	37,3	16,3	30,0
		20–40	18,6	35,1	20,8	44,6	18,3	36,8
	$N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$ + п. п.	0–20	16,1	28,7	18,0	36,0	15,4	27,3
		20–40	17,1	34,0	20,1	42,3	17,6	35,3

У період цвітіння вміст польової та продуктивної вологи був вищим і складав 17,3-18,0 % та 34,9-40,1 мм на контрольному варіанті і 18,0-20,8 % та 36,0-44,6 мм на удобрених ділянках досліду.

В період повної стиглості гороху польова вологість дещо знижувалась і була в межах 14,7-16,3 % в орному і 16,7-18,3 % в підорному пластах, запаси продуктивної вологості ґрунту були на рівні 25,7-30,0 та 34,3-36,8 мм відповідно по шарах ґрунту.

Формування режиму зволоження ґрунту під картоплею відбувалось в дещо іншому порядку, ніж під культурами суцільного посіву. Це пов’язано з тим, що ґрунтова поверхня посівів культури тривалий час знаходиться незахищеною рослинами. Внаслідок цього відбуваються непродуктивні втрати вологи, особливо з верхніх горизонтів. Результати отриманих нами даних (табл. 4) показують, що в орному шарі у фазу сходів картоплі вміст польової та запас продуктивної вологи і в плодозмінній і в зерно-просапній сівозмінах був достатнім у всі п’ять років досліджень й становив в орному шарі ґрунту 17,8-19,4 % і 31,7-34,2 мм у плодозмінній та 17,1-18,8 % і 30,7-32,6 мм у зерно-просапній сівозмінах; в підорному відповідно 19,3-20,7 % і 37,2-39,0 мм та 18,7-20,0 % і 36,1-38,5 мм (табл. 4).

Картоплі потрібно найменше вологи в період проростання й появи сходів, коли молоді рослини використовують вологу з

материнської бульби, але з ростом рослин потреба культури підвищується, особливо у період бутонізація – кінець цвітіння.

Таблиця 4

Вміст польової (%) та запас продуктивної вологи (мм) в ґрунті впродовж вегетації картоплі, 2016–2020 рр.

№ сі-воз-міни	Вид сівозміни, варіант удобрення	Шар ґрунту, см	Період визначення					
			сходи		бутонізація		повна стиглість	
			%	мм	%	мм	%	мм
Плодозмінна, попередник пшениця озима (50 % н. з. к.)								
4	контроль	0–20	17,8	31,7	15,4	28,4	14,0	27,4
		20–40	19,3	37,2	17,4	33,5	15,4	30,8
	Гній, 40 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$	0–20	19,4	34,2	17,2	30,3	16,0	30,7
		20–40	20,7	39,0	19,1	35,7	17,6	33,8
	Сидерат + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + п. п.	0–20	18,6	33,0	16,3	29,3	14,8	29,5
		20–40	20,0	38,1	18,4	34,6	16,7	32,4
Зерно-просапна, попередник пшениця озима (75 % н. з. к.)								
5	контроль	0–20	17,1	30,7	14,8	26,8	13,4	26,5
		20–40	18,7	36,1	16,6	32,6	14,7	29,5
	Гній, 40 т/га +$N_{90}P_{90}K_{90}$	0–20	18,8	32,6	16,3	28,5	15,1	29,7
		20–40	20,0	38,5	18,3	34,7	16,7	32,5
	Сидерат + $N_{90}P_{90}K_{90}$ + п. п.	0–20	18,0	31,5	15,5	27,9	14,2	28,6
		20–40	19,4	37,3	17,5	33,6	15,6	31,1

У наших дослідженнях вологозабезпечення рослин картоплі у період бутонізації, яке проходило у другій декаді червня було контрастним за роки досліджень і залежало від кількості й перерозподілу опадів. Середні за п’ять років значення польової і запасів продуктивної вологи в орному шарі були в межах 15,4-17,2 % та 17,4-19,1 мм у плодозмінній і 14,8-16,3 % та 26,8-28,5 мм у зерно-просапній сівозмінах. У цей час спостерігається зниження волого запасів в посівах культури внаслідок активного використання її рослинами для росту й розвитку.

Аналіз волого забезпечення за варіантами удобрення показав, що кращі умови формуються на удобрених фонах. Внесення в комбінації з мінеральною складовою ($N_{90}P_{90}K_{90}$) безпосередньо під картоплю 40 т/га гною в традиційній органо-мінеральній системі

удобрення й заорювання сидерату й соломи в альтернативній сприяло накопиченню в 0-20 см шарі ґрунту за сівозмінами вмісту польової вологи на рівні 16,3-17,2 % й 15,5-16,3 %, продуктивної відповідно 28,4-30,3 мм й 26,8-28,5 мм.

До закінчення вегетації картоплі волого запаси знижувались і на час збирання культури в орному шарі на удобрених фонах складали 14,8-16,0 % і 29,5-30,7 мм у плодозмінній та 14,2-15,1 % і 28,6-29,7 мм у зерно-просапній сівозмінах.

У всі фази вегетації картоплі кращі умови за вологозабезпеченістю формувались у плодозмінній сівозміні.

Варіабельність показників щільності ґрунту залежно від систем удобрення і попередників в короткоротаційних сівозмінах

Водний режим ґрунту, забезпеченість вологою рослин в значній мірі залежить від його фізичних властивостей, які є важливим, а іноді й вирішальним фактором формування урожаю сільськогосподарських культур та ефективності запровадження різних систем землеробства. Комплексним узагальнюючим показником агрофізичних властивостей ґрунту є його щільність будови, від якої залежать утримання та збереження вологи, вміст і склад повітря, газообмін з атмосферою, умови життєдіяльності рослин і мікроорганізмів. Враховуючи вузьку спеціалізацію сучасного землеробства і рослинництва та їх маркетингову направленість, формування оптимальних значень цього показника на сприятливому для рослин рівні є важливою проблемою в сучасному сільськогосподарському виробництві [34], [35], [36], [37].

Коренева система пшениці озимої найкраще розвивається на ґрунтах з щільністю 1,1-1,25 г/см^3. При значеннях цього показника 1,35-1,4 г/см^3 ріст коріння пригнічується, а якщо вони перевищують 1,6 г/см^3, корені практично не проникають у ґрунт.

[34] Вплив щільності складення ґрунту на урожайність сільськогосподарських культур за різних систем обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах / Тимошенко Г. З. та ін. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 66. С. 82–85.

[35] Batey T. Soil compaction and soil management – A review. *Soil Use and Management.* 2009. Vol. 25 (4). 335–345.

[36] Excavators S., Calgary M. "Influence of compaction on physical and micromorphological properties of forest soils". *American Journal of Plant Sciences*. 2012. Vol. 3. No 1. c. 159–163. doi: 10.4236 / ajps.2012.31018.

[37] Glinski J., Lipiec J. Soil Physical Conditions and Plant Roots. *CRC Press.* 2018. 260 p.

В наших дослідженнях вивчали щільність ґрунту впродовж вегетації пшениці озимої після різних попередників і систем удобрення. Результати проведених досліджень (табл. 5) показали, що найбільш оптимальні показники формувались за органо-мінеральних систем удобрення при безпосередньому внесенні під культуру органічної складової на фоні $N_{60}P_{90}K_{90}$. Зокрема, на час сходів культури в середньому за 2016-2020 роки досліджень вони по шарах ґрунту вони складали: 1,09-1,10 г/см^3 (0-10 см), 1,14-1,16 г/см^3 (10-20 см), 1,19-1,21 г/см^3 (20-30 см). До кінця вегетації вони підвищувались і у фазі повної стиглості становили: 1,20-1,22 г/см^3, 1,27-1,29 г/см^3 й 1,32-1,34 г/см^3.

За умов віддалення у часі органічної складової в органо-мінеральних системах удобрення, а внесення безпосередньо під культуру мінеральних добрив (органічні – під попередники) щільність ґрунту була вищою в усі фази вегетації культури.

Вплив попередників на щільність ґрунту найкраще спостерігається на неудобрених варіантах. В наших дослідженнях в посівах пшениці озимої найвищі показники спостерігались у зерно-просапних сівозмінах за попередників кукурудза на зелену масу й соя. На час сходів культури вони складали за шарами ґрунту: 1,19-1,20 г/см^3 (0-10 см), 1,27-1,28 г/см^3 (10-20 см), 1,32-1,33 г/см^3 (20-30 см).

Спостереження за зміною щільності сірого лісового ґрунту під ячменем ярим показали, що на період сходів на варіанті застосування повної норми мінеральних добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ і післядії 40 т гною внесеного під пшеницю озиму в зерно кормовій і картоплю в плодозмінній сівозмінах цей показник набував найнижчих значень у всіх пластах ґрунту. Так, на час сходів культури залежно від попередника, в 0-10 см щільність була в межах 1,12-1,14 г/см^3, у фазі колосіння – 1,20-1,24 г/см^3, за повної стиглості – 1,27-1,29 г/см^3 (табл. 6).

Таблиця 5

Щільність будови впродовж вегетації пшениці озимої, г/см^3, 2016–2020 рр.

Вид сівозміни, варіант удобрення	Період визначення											
	сходи			відновлення вегетації			колосіння			повна стиглість		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Шар ґрунту, см	0–10	10–20	20–30	0–10	10–20	20–30	0–10	10–20	20–30	0–10	10–20	20–30
1. Зернова, попередник горох (100 % н. з. к.)												
контроль	1,16	1,22	1,27	1,22	1,26	1,30	1,26	1,29	1,33	1,29	1,35	1,40
$N_{60}P_{90}K_{90}$	1,13	1,18	1,23	1,18	1,23	1,26	1,22	1,26	1,29	1,25	1,32	1,37
$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	1,15	1,20	1,25	1,19	1,24	1,28	1,23	1,27	1,31	1,27	1,33	1,38
2. Зернова, попередник пшениця озима (100 % н. з. к)												
контроль	1,15	1,22	1,26	1,20	1,25	1,29	1,25	1,28	1,32	1,28	1,34	1,39
Гній, 40 т/га + $N_{60}P_{90}K_{90}$	1,09	1,14	1,19	1,13	1,18	1,22	1,17	1,21	1,25	1,20	1,27	1,32
Сидерат + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + п.п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	1,10	1,16	1,21	1,14	1,20	1,24	1,19	1,23	1,27	1,22	1,29	1,34
4. Плодозмінна, попередник конюшина на з. м. (50 % н. з. к.)												
контроль	1,14	1,20	1,25	1,19	1,24	1,28	1,24	1,27	1,31	1,27	1,33	1,38
$N_{60}P_{90}K_{90}$	1,12	1,16	1,22	1,16	1,21	1,25	1,20	1,24	1,28	1,23	1,30	1,35
$N_{30}P_{45}K_{45}$	1,13	1,18	1,24	1,18	1,22	1,27	1,21	1,25	1,30	1,25	1,31	1,37
5. Зерно-просапна попередник гречка (75 % н. з. к.)												
контроль	1,18	1,26	1,31	1,24	1,28	1,34	1,27	1,31	1,37	1,30	1,37	1,41
$N_{60}P_{90}K_{90}$	1,13	1,20	1,25	1,20	1,25	1,28	1,23	1,28	1,31	1,26	1,34	1,39
$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	1,15	1,22	1,27	1,21	1,26	1,30	1,25	1,29	1,33	1,28	1,35	1,40
6/7. Зерно-просапна попередник кукурудза на з. м. (80 % н. з. к.)												
контроль	1,19	1,27	1,32	1,25	1,29	1,35	1,29	1,32	1,38	1,32	1,38	1,42
$N_{60}P_{90}K_{90}$	1,10	1,16	1,21	1,14	1,19	1,24	1,18	1,22	1,27	1,21	1,28	1,34
$N_{30}P_{45}K_{45}$	1,11	1,18	1,23	1,16	1,21	1,26	1,20	1,24	1,29	1,24	1,30	1,36

ISBN 978-617-95314-4-6

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6/7 Зерно-просапна попередник соя (80 % н. з. к.)												
контроль	1,20	1,28	1,33	1,26	1,30	1,36	1,30	1,33	1,39	1,34	1,39	1,43
$N_{60}P_{90}K_{90}$	1,14	1,23	1,27	1,22	1,27	1,30	1,25	1,30	1,33	1,30	1,36	1,40
$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	1,16	1,24	1,29	1,23	1,28	1,33	1,2	1,31	1,36	1,32	1,37	1,42

ISBN 978-617-95314-4-6

Таблиця 6

Щільність будови сірого лісового ґрунту впродовж вегетації ячменю ярого, г/см^3, 2016–2020 рр.

№ сівозміни	Вид сівозміни, варіант удобрення	Шар ґрунту, см	Період визначення		
			сходи	колосіння	повна стиглість
Зерно-кормова, попередник пшениця озима (75 % н. з. к.)					
3	контроль	0–10	1,16	1,25	1,32
		10–20	1,22	1,30	1,37
		20–30	1,32	1,38	1,42
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0–10	1,12	1,20	1,27
		10–20	1,19	1,26	1,34
		20–30	1,28	1,33	1,40
	$N_{30}P_{30}K_{30}$+п.п.	0–10	1,14	1,22	1,28
		10–20	1,20	1,28	1,35
		20–30	1,30	1,35	1,41
Плодозмінна, попередник картопля (50%н.з.к.)					
4	контроль	0–10	1,18	1,27	1,33
		10–20	1,24	1,32	1,39
		20–30	1,34	1,40	1,43
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0–10	1,14	1,24	1,29
		10–20	1,21	1,28	1,36
		20–30	1,30	1,35	1,41
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	0–10	1,16	1,25	1,30
		10–20	1,23	1,30	1,38
		20–30	1.32	1,37	1,42

Внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ на фоні заораної соломи пшениці озимої (попередника) в зерно-кормовій сівозміні та $N_{30}P_{30}K_{30}$ в плодозмінній сівозмінах формувало вищі значення щільності ґрунту в посівах ячменю ярого. Найвищі значення цього показника спостерігались на неудобрених варіантах.

Із збільшенням глибини відбору зразків та з проходженням фаз вегетації щільність ґрунту під ячменем ярим зростала на всіх варіантах досліду.

Дослідження динаміки щільності ґрунту в посівах гороху показало, що її залежність від фаз вегетації культури та системи удобрення (табл. 7).

Таблиця 7

Щільність будови сірого лісового ґрунту впродовж вегетації рослин гороху, г/см^3, 2016-2020 рр.

№ сівозміни	Вид сівозміни, варіант удобрення	Шар ґрунту, см	Період визначення		
			сходи	цвітіння	повна стиглість
Зернова, попередник овес (100 % н. з. к.)					
1	контроль	0–10	1,16	1,24	1,33
		10–20	1,23	1,27	1,36
		20–30	1,26	1,37	1,43
	$N_{45}P_{45}K_{45}$	0–10	1,14	1,20	1,29
		10–20	1,17	1,23	1,32
		20–30	1,22	1,33	1,40
	$N_{22,5}P_{22,5.}K_{22,5}$ + п. п.	0–10	1,15	1,22	1,31
		10–20	1,19	1,25	1,34
		20–30	1,24	1,35	1,41

Найнижча щільність сірого лісового ґрунту була на час сходів культури і у верхньому (0-10 см) шарі складала 1,14-1,16 г/см^3. Вниз за пластами ґрунту цей показник підвищувався і найбільших значень набував на рівні 20-30 см – 1,22-1,26 г/см^3. За варіантами удобрення найкращі умови за щільністю ґрунту формувались за традиційної органо-мінеральної системи при внесенні безпосередньо під культуру $N_{45}P_{45}K_{45}$ та післядії гною, який застосовувався під попередники. В таких умовах за пластами ґрунту у фазі сходів цей показник складав 1,14 (0-10 см), 1,17 (10-20 см), 1,22 (20-30 см) г/см^3, при повній стиглості відповідно 1,29 (0-10 см), 1,32 (10-20 см), 1,40 (20-30 см) г/см^3.

Аналіз динаміки показників щільності ґрунту (табл. 8) під посівами картоплі показав, що найнижчі її значення були за сумісного внесення 40 т/га гною й $N_{90}P_{90}K_{90}$ в традиційній органо-мінеральній системі удобрення і за пластами ґрунту на час сходів складали 1,11-1,24 г/см^3, при бутонізації набували значень в межах 1,16-1,28 г/см^3, при збиранні 1,33-1,39 г/см^3.

Вища щільність ґрунту спостерігалась від застосування соломи попередника – пшениці озимої та сидерату (післяжнивної редьки олійної) на фоні $N_{90}P_{90}K_{90}$ мінеральних добрив в альтернативній

системі удобрення і в динаміці за шарами ґрунту складала 1,14-1,26, 1,19-1,31, 1,34-1,40 г/см^3.

Таблиця 8

Щільність будови сірого лісового ґрунту впродовж вегетації рослин картоплі, г/см^3, 2016–2020 рр.

№ сівозміни	Вид сівозміни, варіант удобрення	Шар ґрунту, см	Період визначення		
			сходи	бутонізація	збирання
Плодозмінна, попередник пшениця озима (50 % н. з. к.)					
4	контроль	0–10	1,17	1,25	1,36
		10–20	1,21	1,24	1,39
		20–30	1,28	1,33	1,41
	Гній, 40 т/га + $N_{90}P_{90}K_{90}$	0–10	1,11	1,16	1,33
		10–20	1,15	1,20	1,36
		20–30	1,24	1,28	1,39
	Сидерат+N_{45} $P_{45}K_{45}$+п. п. +. $N_{45}P_{45}K_{45}$	0–10	1,14	1,19	1,34
		10–20	1,17	1,22	1,37
		20–30	1,26	1,31	1,40

Найвищі значення щільності ґрунту протягом вегетації картоплі спостерігались на неудобреному варіанті.

З проходженням фаз вегетації за усіма досліджуваними культурами щільність зростала незалежно від сівозмін, попередників і систем удобрення під впливом самоосідання ґрунту та погодних умов.

ВИСНОВКИ:

Агрофізичні властивості сірого лісового ґрунту формуються залежно від структури сівозмін, ступінь насичення її одно видовими культурами, під впливом удобрення та попередників в циклі полікультурної системи.

Сумісне внесення мінеральних добрив та 40 т/га гною в короткоротаційних сівозмінах забезпечує найвищі значення польової та запаси продуктивної вологи в посівах сільськогосподарських культур. За середніми п’ятирічними даними на час сходів пшениці озимої в орному шарі вони знаходились в межах 16,9-21,5 % та 29,8-

37,3 мм, ячменю ярого – 18,1-19,0 % та 34,0-5,1 мм, гороху – 16,8 % та 30,0 мм, картоплі – 18,8-19,4 % та 32,6-34,2 мм.

Найнижчі показники щільності сірого лісового ґрунту під культурами сівозмін з різним насиченням зерновими формуються на традиційних органо-мінеральних фонах удобрення. При безпосередньому внесенні під пшеницю озиму органічної складової на фоні $N_{60}P_{90}K_{90}$ на час сходів культури в середньому за 2016-2020 роки досліджень за шарами ґрунту забезпечується щільність в межах 1,09-1,10 г/см^3 (0-10 см), 1,14-1,16 г/см^3 (10-20 см), 1,19-1,21 г/см^3 (20-30 см).

РОЗДІЛ 3

ПОЖИВНИЙ РЕЖИМ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ В КОРОТКО РОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІНАХ ЗА ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Раціональне використання ґрунтів, ефективне управління їх родючістю та біопродуктивністю забезпечує сталий розвиток суспільства, сприяє вирішенню проблем продовольчої безпеки, запобігає реальним та потенційним загрозам національним інтересам [38].

Домінуючим чинником стабілізації земельного потенціалу, підвищення його сталості й послідовного нарощування можливе лише на основі запровадження високоефективних екологостабілізуючих систем землеробства, визначальною, базовою складовою яких є науково обґрунтовані сівозміни зі спектром культур, адаптованих до зональних ґрунтово-кліматичних, соціальних і господарських умов. Всі інші підситеми рільництва: обробіток ґрунту, удобрення, захист посівів від бур'янів, шкідників та хвороб стають максимально ефективними тільки за умов чітко визначеного, науково обґрунтованого чергування культур у сівозмінах [39], [40], [41].

Збалансовані сівозміни є агросистемами високого рівня організації. Сучасна концепція формування полікомпонентних систем передбачає комплексне вивчення закономірностей їх функціонування на основі оптимізації структури рослинних асоціацій, високого рівня

38 Kamins′kyy V. F., Sayko V. F. (2014) Stratehiya optymizatsiyi vykorystannya zemel′nykh resursiv v ahropromyslovomu vyrobnytstvi Ukrayiny v konteksti svitovoho stabil′noho rozvytku [Strategy of optimization of the use of land resources in the agro-industrial production of Ukraine in the context of global sustainable development]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, no. 3, pp. 5–10 (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2014_3_3

39 Boyko P. I., Kovalenko N. P., Opara M. M. (2014) Efektyvni riznorotatsiyni sivozminy u suchasnomu zemlerobstvi [Effective rotational crop rotation in modern agriculture]. *Visnyk Poltavs'koyi derzhavnoyi ahrarnoyi akademiyi*, no. 3, pp. 20–32 (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VPDAA_2014_3_6

40 Gadzalo Ya. M., Kaminsky V. F., Saiko V. F. (2015) Crop rotations in agriculture of Ukraine [Crop rotations in agriculture of Ukraine]. *Zemlerobstvo*, vol. 1, pp. 3–6 (in Ukrainian). http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2015_1_3.

41 Boyko P. I, Litvinov D. V. (2015) Efektyvnist′ korotkorotatsiynykh sivozmin u suchasnykh systemakh zemlerobstva [The effectiveness of short rotation crop rotations in modern farming systems]. *Zemlerobstvo*, vol. 2, pp. 38-46 (in Ukrainian). URL: h ttp://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2015_2_8

функціональної організації ґрунтових режимів і посилення їх саморегуляторних механізмів та гармонізації

з природними ландшафтними умовами (зональні особливості території, ґрунтовий покрив, його агрохімічні й агрофізичні характеристики) при забезпеченні повного повернення до біогенних елементів у складі основної і побічної продукції [42].

Важливу роль у системі агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення продуктивності сівозмін, відтворенні родючості ґрунтів, є використання органічних і мінеральних добрив, найбільший ефект від яких можна отримати при збереженні науково обґрунтованих способів їх застосування з врахуванням біологічних особливостей виду і сорту культури [43], [44].

В умовах зменшення поголів'я в тваринництві, особливо великої рогатої худоби, різкого зменшення виробництва гною традиційні органо-мінеральні системи удобрення не можуть бути в повній мірі забезпечені органічною складовою. За таких умов надзвичайно важливого значення набуває зміна пріоритетів щодо формування ефективних екологічно безпечних удобрюваних систем в сівозмінах, що передбачають застосування альтернативних джерел поповнення органіки в ґрунті – вторинної продукції рослинництва, сидеральних культур (редька олійна, гірчиця біла, перко, люпин жовтий, ріпак озимий). Вченими Інституту сільського господарства Карпатського регіону Національної академії аграрних наук України встановлено, що застосування зелених добрив і соломи на невисокому фоні мінеральних добрив є рівноцінним як щодо впливу на продуктивність сівозмін, так і на родючість ґрунту [45].

---

42 Zaryshnyak A. S., Sedilo H. M., Dyshlyuk V. Ye., Kachmar O. Y. (2013) Stratehiya rozvytku ahropromyslovoho vyrobnytstva za zberezhennya landshaftiv i rekreatsiynykh zon Karpat·s′koho rehionu [Strategy for the development of agro-industrial production for the conservation of landscapes and recreational zones of the Carpathian region]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, no. 11, pp. 13–21 (in Ukrainian). URL: https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_11_2013.pdf

43 Dehodyuk S. E., Litvinova O. A., Vitvits′ka O. I., Bodnar Yu. D. (2010) Vplyv dobryv u sivozmini na rodyuchist′ gruntu i produktyvnist′ sivozmin [Effect of fertilizers in crop rotation on soil fertility and crop rotation productivity]. *Zbirnyk naukovykh prats' NNTS «Instytut zemlerobstva NAAN»*, vol. 4, pp. 3–10 (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpzeml_2010_4_3

44 Tsvey Ya. P. (2015) Formuvannya rodyuchosti gruntu v korotkorotatsiynykh sivozminakh Lisostepu [Formation of soil fertility in short rotation rotations of the forest-steppe]. Zemlerobstvo, vol. 1, pp. 56–59 (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2015_1_13

45 Kachmar O. Y., Vavrynovych O. V., Shcherba M. M. (2015) Vplyv system udobrennya na produktyvnist′ korotkorotatsiynykh sivozmin v umovakh Zakhidnoho rehionu Ukrayiny [Influence of fertilizer systems on the

Динаміка основних елементів живлення рослин за різних систем удобрення

Поживний режим ґрунту з сукупності різноманітних хімічних, фізичних і біологічних процесів, явищ і показників, які зумовлюють рівень його родючості займає визначальне місце, є базовою стабілізуючою основою його біопродуктивності.

Сприятливі властивості та режими, ґрунтів, оптимальні умови росту і розвитку рослин, забезпеченість їх впродовж вегетації основними елементами живлення у доступній формі формується шляхом застосування органічних і мінеральних добрив [46], [47], [48].

Дослідження динаміки поживного режиму впродовж вегетації сільськогосподарських культур виконувались в умовах експериментального полігону, який внесений до Реєстру стаціонарних дослідів України (номер атестата - 053). Він був закладений в 2001 р. на сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті.

Вивчались 9 польових коротко ротаційних сівозмін із насиченням зерновими культурами від 50 до 100 % (горох-пшениця озима-пшениця озима-овес, горох-пшениця озима-кукурудза на зерно-овес, конюшина лучна-пшениця озима-пшениця озима-ячмінь ярий, конюшина лучна-пшениця озима-картопля-ячмінь ярий, гречка-пшениця озима-картопля-ячмінь ярий, кукурудза на зелену масу - пшениця озима-ячмінь ярий-соя-пшениця озима, кукурудза на зелену масу-пшениця озима-гречка-соя-пшениця озима, пшениця озима-соя-пшениця озима, пшениця озима-боби кормові-пшениця озима.

productivity of short rotation crop rotations in the Western region of Ukraine]. *Zemlerobstvo*, vol. 1, pp. 38-45 (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemlerobstvo_2015_1_10

[46] Dehodyuk E. H., Pronenko M. M., Bodnar YU. D. (2014) Vplyv tryvaloho zastosuvannya dobryv na ahrokhimichni pokaznyky rodyuchosti siroho lisovoho hruntu [Influence of long-term application of fertilizers on agrochemical indicators of fertility of gray forest soil]. *Zbirnyk naukovykh prats' NNTS «Instytut zemlerobstva NAAN»,* vol. 4, pp. 12–17 (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpzeml_2014_4_4

[47] Davydenko H. A. (2012) Vplyv poperednykiv i dobryv na ahrokhimichni pokaznyky gruntu i produktyvnist′ ozymoyi pshenytsi [Impact of precursors and fertilizers on soil agrochemical performance and winter wheat productivity]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University, series "Agronomy and Biology",* vol. 9 (24), pp. 37–39 (in Ukrainian). URL: http://visnyk.snau.edu.ua/sample/files/snau_2012_9_24_agronom/JRN/14.pdf

[48] Sedilo H. M., Habryyel′ A. Y., Olifir Yu. M., Kachmar O. Y. (2015) Zastosuvannya orhano-mineral′nykh dobryv na sirykh lisovykh poverkhnevo ohleyenykh gruntakh Karpat·s′koho rehionu [Application of organic-mineral fertilizers on gray forest surface-covered soils of the Carpathian region]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, no. 2, pp. 11-15 (in Ukrainian). URL: https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_01_2012.pdf

В чотири- та п’ятипільних сівозмінах застосовувались традиційні (поєднання мінеральних добрив і гною) та альтернативні (компонування половинних доз мінеральних добрив, соломи й пожнивних сидератів) органо-мінеральні системи удобрення, в трипільних практикувалось внесення самих мінеральних складових. Контролем слугували варіанти без внесення добрив.

Вміст легкогідролізного азоту вивчали за Корнфілдом (ДСТУ 7863:2015); рухомого фосфору та обмінного калію за Кірсановим (ДСТУ 4405:2005). Балансову оцінку здійснювали розрахунково.

В даному розділі висвітлено результати досліджень поживного режиму під озимою та ярою зерновими (пшениця озима та ячмінь ярий), зернобобовою (горох) та просапною (картопля) культурами, вирощуваних в короткоротаційних сівозмінах на різних удобрюваних фонах.

Визначення динаміки вмісту поживних речовин у ґрунті під пшеницею озимою показало, що їх кількість змінювалась від внесення комплексів мінеральних і органічних добрив та фаз розвитку рослин.

Найвищий уміст легкогідролізного азоту (130-136 та 113-115 мг/кг ґрунту), рухомого фосфору (133-142 та 122-128 мг/кг ґрунту) й обмінного калію (116-120 та 104-106 мг/кг ґрунту) під пшеницею озимою в орному та підорному шарах був на час відновлення весняної вегетації після попередника пшениці озимої в зерновій сівозміні на варіантах безпосереднього внесення органо-мінеральних систем удобрення.

Вищі значення елементів поживного режиму формувались за традиційної системи при сумісному застосуванні 40 тонн гною великої рогатої худоби та мінеральних добрив в дозі $N_{60}P_{90}K_{90}$. За внесення під культуру $N_{30}P_{45}K_{45}$ на фоні побічної продукції стерневого попередника – соломи пшениці озимої й вирощування в післяжнивних посівах редьки олійної на сидерат в альтернативній системі удобрення відбувалось зниження в орному та підорному шарах ґрунту лужногідролізного азоту на 4,4 і 1,7 %, рухомого

фосфору на 6,3 й 4,7 %, обмінного калію на 3,3 і 1,9 %. в порівнянні до традиційної системи.

При застосуванні під пшеницю озиму самого мінерального удобрення ($N_{60}P_{90}K_{90}$) в поєднанні з післядією гною, внесеного під попередники в плодозмінній (попередник конюшина лучна на зелену масу (з. м.) та зерновій (попередник горох) сівозмінах як в орному, так і підорному пластах формувались досить високі для цього типу ґрунту значення основних елементів живлення: легкогідролізного азоту на рівні 131-128 та 111-110 мг/кг ґрунту (за глибиною кореневмісного шару), рухомих форм фосфору й калію відповідно 133-134 і 119-120 та 113-119 і 100-104 мг/кг ґрунту. Варіанти альтернативної системи забезпечували накопичення рухомих форм поживних елементів на рівні 121-119 і 106-104, 123-124 і 110-111, 105-109 і 97-100 мг/кг ґрунту (табл. 1).

Варіабельність показників поживного режиму ґрунту в зерно-просапних сівозмінах на варіантах традиційної системи удобрення знаходилась в межах 121-125, 132-136 і 112-117 мг/кг ґрунту легкодоступних рослинам форм азоту, фосфору й калію в 0-20 см та 105-107, 119-122 і 100-103 мг/кг ґрунту в 20-40 см пластах; за альтернативної системи вона змінювалась відповідно: 113-117, 123-126 і 104-108 та 103-104, 110-112 і 96-100 мг/кг ґрунту.

В трипільних зернових сівозмінах вирощування пшениці озимої в повторних посівах на мінеральних фонах ($N_{60}P_{90}K_{90}$) відбувалось за вмісту елементів живлення в кореневмісному пласті ґрунту: 103-120 лужногідролізного азоту, 119-133 і 102-117 мг/кг ґрунту рухомих форм фосфору й калію.

У фазі повної стиглості пшениці озимої на всіх варіантах сівозмін проходило зниження показників поживного режиму, що пояснюється використанням їх культурою для формування врожаю. Перед збиранням за традиційної системи удобрення в орному горизонті вміст легкогідролізного азоту був в межах 97-112, рухомих форм фосфору й калію 113-123 і 96-106, за альтернативної – відповідно 86-106, 104-113 і 86-103. В підорному шарі різниця між варіантами була незначною.

Таблиця 1

Вміст основних елементів живлення рослин під пшеницею озимою, мг/кг ґрунту, 2016-2019 рр.

Удобрення пшениці озимої	Шар ґрунту, см	Час відбору зразків ґрунту								
		перед посівом			відновлення вегетації			повна стиглість		
		N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
зернова, попередник горох (100 % н. з. к.)										
контроль	0-20	103	107	98	107	111	102	94	102	92
	20-40	9,2	99	87	96	103	89	84	95	82
$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	119	125	113	128	134	118	107	115	101
	20-40	101	114	99	110	120	104	92	106	90
$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0-20	110	115	105	119	124	109	98	105	94
	20-40	99	104	96	104	111	100	90	96	87
зернова, попередник пшениця озима (100 % н. з. к)										
контроль	0-20	97	106	95	102	108	98	88	101	89
	20-40	85	98	84	93	102	86	77	94	79
$N_{60}P_{90}K_{90}$ + гній, 40 т/га +	0-20	126	131	117	136	142	120	112	123	106
	20-40	107	117	103	115	128	106	95	111	94
$N_{60}P_{90}K_{90}$ + п. п. + сидерат	0-20	118	120	114	130	133	116	106	113	103
	20-40	104	112	102	113	122	104	94	106	93
плодозмінна, попередник конюшина на зелену масу (75 % н. з. к.)										
контроль	0-20	104	105	94	108	110	97	97	100	88
	20-40	92	98	83	96	102	85	85	94	78
$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	120	124	111	131	133	113	108	114	99
	20-40	102	113	97	111	119	100	93	105	88
$N_{30}P_{45}K_{45}$	0-20	110	114	104	121	123	105	99	104	93
	20-40	99	103	95	106	110	97	90	96	86

ISBN 978-617-95314-4-6

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
зерно-просапна, попередник гречка (75 % н. з. к.)										
контроль	0-20	99	108	97	105	113	99	91	104	91
	20-40	88	101	85	94	105	88	80	98	81
$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	113	127	112	123	136	115	102	118	101
	20-40	99	115	98	106	122	102	91	108	89
$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0-20	105	116	104	114	126	106	95	108	94
	20-40	96	105	95	103	112	98	88	99	87
зерно-просапна, попередник кукурудза на зелену масу (80 % н. з. к.)										
контроль	0-20	98	105	93	104	110	96	90	101	88
	20-40	87	98	82	93	102	84	79	95	77
$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	111	124	109	121	132	112	101	115	98
	20-40	98	112	96	105	119	100	90	105	87
$N_{30}P_{45}K_{45}$	0-20	104	113	103	113	123	104	94	105	92
	20-40	95	103	94	103	110	96	87	96	85
зерно-просапна, попередник соя (80 % н. з. к.)										
контроль	0-20	102	107	99	106	112	103	93	103	94
	20-40	91	100	91	95	104	93	84	96	86
$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	115	126	113	125	135	117	104	117	102
	20-40	100	114	99	107	120	103	92	107	90
$N_{30}P_{45}K_{45}$ + п. п.	0-20	106	115	106	117	125	108	97	107	95
	20-40	97	105	96	104	112	100	89	98	88
зернова, попередник пшениця озима (100 % н. з. к.)										
$N_{60}P_{90}K_{90}$	0-20	111	124	111	120	133	117	97	113	96
	20-40	97	112	97	103	119	102	86	104	86

Примітка. П. п. – побічна продукція, н. з. к. – насичення зерновими культурами, N л. г. – азот легкогідролізний.

ISBN 978-617-95314-4-6

Результати досліджень показали, що на забезпеченість вирощуваної культури елементами живлення впливали і попередники. Аналіз експериментальних даних свідчить, що на контрольному варіанті (без добрив) у 0-20 см пласті ґрунту в період відновлення весняної вегетації найвищий уміст доступного азоту в посівах пшениці озимої забезпечила конюшина лучна на зелену масу (108 мг/кг ґрунту в орному горизонті). Дещо нижчим цей показник був після попередників гороху і сої – 107 і 106, після гречки він складав 105, кукурудзи на зелену масу – 104, в повторних посівах пшениці озимої – 102 мг/кг ґрунту.

Найбільших значень показники вмісту рухомих форм фосфору в орному шарі ґрунту неудобрених варіантів набували в зерно-просапній сівозміні за попередника гречка і складали 113 мг/кг ґрунту, а найменших – в зерновій сівозміні за повторних посівів пшениці озимої – 108 мг/кг ґрунту. Після таких попередників як горох, конюшина лучна, кукурудза на зелену масу, соя вміст рухомого фосфору незначно відрізнявся і був в межах 110-112 мг/кг ґрунту.

Діапазон значень показників обмінного калію на неудобрених варіантах був меншим і змінювався від 96 мг/кг ґрунту в зерно-просапній п’ятипільній сівозміні за попередника кукурудза на зелену масу до 103 мг/кг ґрунту в зерно-просапній сівозміні п’ятипільній сівозміні за попередника соя.

До закінчення вегетації пшениці озимої вміст рухомих форм азоту, фосфору й калію знизився і за сівозмінами набув значень: 88-97, 100-104 і 88-94 мг/кг ґрунту.

Дослідження поживного режиму під ячменем ярим проводили у двох контрастних сівозмінах – зерно-кормовій з 75 відсотковим насиченням зерновими культурами (н. з. к.) за попередника пшениця озима й плодозмінній з 50 % н. з. к. з попередником картоплею. Системами удобрення передбачалось і проводилось внесення в натурі двох рівнів мінерального живлення: в традиційній - $N_{60}P_{60}K_{60}$, в альтернативній – $N_{30}P_{30}K_{30}$, яке в зерно-кормовій сівозміні доповнювалось заорюванням соломи пшениці озимої як компоненти органічної складової (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст основних елементів живлення рослин під ячменем ярим, мг/кг ґрунту, 2016–2019 рр.

Удобрення ярого ячменю	Шар ґрунту, см	Час відбору зразків ґрунту								
		сходи			колосіння			повна стиглість		
		N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O
зерно-кормова, попередник пшениця озима (75% н. з. к.)										
контроль	0-20	98	108	99	82	96	83	77	89	77
	20-40	89	99	87	82	91	76	75	86	71
$N_{60}P_{60}K_{60}$	0-20	123	126	118	101	110	97	90	104	84
	20-40	114	117	104	93	97	87	85	91	76
$N_{30}P_{30}K_{30}$ + п. п.	0-20	113	115	109	97	106	91	86	101	81
	20-40	106	107	95	90	99	83	82	89	73
плодозмінна, попередник картопля (50% н. з. к.)										
контроль	0-20	103	111	93	87	100	80	79	92	74
	20-40	92	100	81	84	93	72	76	87	70
$N_{60}P_{60}K_{60}$	0-20	129	129	113	105	116	95	92	107	83
	20-40	115	119	100	98	99	81	86	89	74
$N_{30}P_{30}K_{30}$	0-20	117	119	105	101	108	88	87	98	81
	20-40	109	9	92	95	95	79	83	88	71

ISBN 978-617-95314-4-6

Дослідженнями встановлено вищий рівень ефективної родючості ґрунту на час сходів культури, що пояснюється з одного боку, переходом елементів живлення в ґрунтовий розчин з добрив, внесених під передпосівну культивацію, з іншого - невисоким рівнем їх споживання рослинами в даний період. За цієї фази розвитку ячменю ярого найбільш виразно проявляється вплив попередника. Як на неудобрених варіантах, так і за обох систем удобрення більші значення рухомих форм азоту й фосфору були в плодозмінній сівозміні, калію - зерно-кормовій. За внесення під попередники комплексу мінеральних і органічних добрив, винос основною і побічною продукцією сполук азоту й калію в пшениці озимої є вищим, ніж у картоплі, калію – навпаки. Тому на удобрених варіантах зерно кормової сівозміни в орному шарі на початку вегетації ячменю ярого вміст основних елементів живлення, сформований впливом добрив та попередника, знаходився на рівні 113-123 мг/кг ґрунту легкогідролізного азоту, 115-126 і 109-118 мг/кг ґрунту рухомих форм фосфору й калію. В плодозмінній сівозміні він був в межах 117-129, 119-129 і 105-113 мг/кг ґрунту відповідно за елементами живлення. Ця закономірність спостерігалась в усі досліджувані фази розвитку рослин, однак з меншою абсолютною величиною.

Спостереження за динамікою поживного режиму показали зниження його значень від фази сходів до повної стиглості культури. Найнижчі показники вмісту елементів живлення на всіх варіантах були при збиранні ячменю ярого і складали за сівозмінами 77-92, 89-107 і 74-84 мг/кг ґрунту.

Вивчення поживного режиму під посівами гороху відбувалось у двох чотирипільних зернових сівозмінах з однаковими рівнями удобрення (за традиційної системи вносились мінеральні добрива в діючій речовині $N_{45}P_{45}K_{45}$, в альтернативній половинні їх дози - $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,3}$ – на фоні соломи стерневого попередника – вівса). Склад сівозмін різнився однією культурою – пшениця озима в повторних посівах була замінена кукурудзою на зерно. Ця заміна не стосувалась найближчого попередника, тому відчутного впливу на поживний режим не проявляла (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст основних елементів живлення рослин під горохом, мг/кг ґрунту, 2016-2019 рр.

Удобрення ячменю ярого	Шар ґрунту, см	Час відбору зразків ґрунту								
		сходи			колосіння			повна стиглість		
		N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O
зернова, попередник овес (100 % н. з. к.)										
контроль	0-20	99	104	97	83	91	86	77	86	7,7
	20-40	88	97	86	79	84	78	72	79	71
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0-20	119	129	116	91	102	98	84	95	81
	20-40	104	116	102	83	95	84	76	82	75
$N_{22,5}P_{22,5}K_{22,3}$ + п. п.	0-20	108	115	111	88	95	94	81	91	80
	20-40	95	109	98	80	91	81	74	80	73
зернова, попередник овес (75 % н. з. к., 25% кукурудза на зерно)										
контроль	0-20	101	105	99	84	101	87	75	88	76
	20-40	88	98	86	78	83	78	71	80	70
$N_{45}P_{45}K_{45}$	0-20	120	131	117	91	103	100	85	95	83
	20-40	106	112	103	84	94	83	76	83	74
$N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$ + п. п.	0-20	110	117	115	89	96	95	82	93	81
	20-40	95	110	100	81	92	80	74	81	71

Дослідженнями встановлено, що впродовж вегетації гороху показники поживного режиму ґрунту знижувались внаслідок їх споживання культурою для свого росту, розвитку і біопродукування. Найвищі значення вони мали на час сходів у варіантах традиційної органо-мінеральної системи удобрення за внесення безпосередньо під горох мінеральної складової на рівні $N_{45}P_{45}K_{45}$ і за двома сівозмінами в орному шарі складали 119-120 мг/кг ґрунту легкогідролізного азоту, 129-131 мг/кг ґрунту рухомого фосфору й 116-117 мг/кг ґрунту обмінного калію. В альтернативній системі при застосуванні половинних доз – в діючій речовині $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,3}$ на фоні соломи вівса – їх величини були меншими й знаходились в межах 108-110, 118-117, 111-115 мг/кг ґрунту відповідно за зазначеними елементами живлення. Контрольні варіанти відзначались найнижчими показниками рухомих поживних сполук.

У фазі повної стиглості гороху як бобової культури, здатної до симбіотичної азотфіксації, не спостерігалось збільшення вмісту

легкогідролізного азоту в ґрунті. Це пояснюється тим, що на цей період процеси мінералізації бульбочок, сформованих у процесі життєдіяльності гороху, ще набули високої активності й в ґрунтове середовище в помітних величинах не переходять зв'язані культурою сполуки азоту.

Аналіз поживного режиму під просапною культурою – картоплею проводився також у двох сівозмінах: зерновій і плодозмінній. За традиційної системи удобрення безпосередньо під культуру вносились комплекси $N_{90}P_{90}K_{90}$ + гній, 40 т/га, альтернативної – $N_{90}P_{90}K_{90}$ + солома пшениці озимої + післяжнивний сидерат.

Дослідженнями встановлено, що вищий рівень накопичення елементів живлення формувався в плодозмінній сівозміні (табл. 4).

Це пояснюється її складом, зокрема наявністю конюшини лучної, яка залишає після себе велику кількість післяжнивних та кореневих решток, які мінералізуючись, вивільняють в ґрунтове середовище елементи живлення. В зерно-просапній сівозміні замість конюшини лучної було включено гречку, яка залишає після себе значно менше органічної речовини, а, відтак і поживних елементів, які вона містить.

Вивчення впливу удобрення показало переваги традиційної органо-мінеральної системи в порівнянні до альтернативної. За сумісного внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ + гній, 40 т/га вміст лужногідролізного азоту в орному горизонті на час сходів культури за сівозмінами складав 125-1,9 мг/кг ґрунту, рухомого фосфору – 134-137 мг/кг ґрунту, обмінного калію – 115-119 мг/кг ґрунту.

При застосуванні комплексу $N_{90}P_{90}K_{90}$ + солома + сидерат ці показники були на рівні 120-123, 128-133 і 112-114 мг/кг ґрунту відповідно за елементами живлення.

В підорних горизонтах вміст елементів живлення був нижчим, але змінювався за такими ж закономірностями. У міру росту та розвитку рослин картоплі спостерігали зменшення кількості легкогідролізного азоту, рухомого фосфору й обмінного калію на всіх варіантах досліду внаслідок споживання його рослинами.

Таблиця 4

Вміст основних елементів живлення рослин під картоплею, мг/кг ґрунту, 2016-2019 рр.

Удобрення картоплі	Шар ґрунту, см	Час відбору зразків ґрунту								
		сходи			цвітіння			повна стиглість		
		N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O	N л. г.	P_2O_5	K_2O
зерно-просапна, попередник пшениця озима (75% н. з. к.)										
контроль	0-20	97	106	98	84	92	83	78	86	74
	20-40	88	98	88	79	89	77	73	81	72
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + гній, 40 т/га	0-20	125	134	115	108	117	92	99	107	83
	20-40	113	122	101	103	108	86	92	100	90
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + п. п. + сидерат	0-20	120	128	112	101	111	89	95	103	79
	20-40	111	119	99	101	105	94	89	96	74
плодозмінна, попередник пшениця озима (50% н.з.к.)										
контроль	0-20	101	109	101	88	95	88	80	89	76
	20-40	90	100	90	82	90	79	74	80	73
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + гній, 40 т/га	0-20	129	137	119	113	119	96	101	109	85
	20-40	115	124	102	105	110	88	93	101	91
$N_{90}P_{90}K_{90}$ + п. п. + сидерат	0-20	123	133	114	107	113	93	98	104	80
	20-40	112	120	101	102	107	96	90	96	74

Нагромадження кореневих решток в короткоротаційних сівозмінах за різних систем удобрення.

Кореневі рештки відіграють надзвичайно важливу роль в нагромадженні органічних речовин в ґрунті, формуванні його поживного режиму; в значній мірі визначають напрями протікання процесів мінерального живлення рослин, та в цілому впливають на агрономічні властивості ґрунтового середовища і фітосанітарний стан. Від їх кількості, тривалості розкладання залежить урожайність культур та продуктивність сівозмін.

Кореневі рослинні рештки містять багато елементів живлення, які використовують наступні культури сівозміни. Під час їх

мінералізації в ґрунт повертається значна частина азоту, фосфору і калію, використаних рослинами з добрив і ґрунту [49].

Науковими дослідженнями встановлено, що з рослинними (кореневими) рештками в у ґрунт надходить органічних речовин більше, ніж з органічними добривами. Деяке нагромадження органічної речовини в ґрунті відбувається уже під час вегетації рослин за рахунок регенерації кореневої системи, кореневих виділень та посиленої діяльності мікроорганізмів [50].

Досліджено, що кореневі рештки за якісним складом біологічно цінніші, ніж стеблові, особливо багаторічних бобових трав. Надходження з рослинними рештками бобових трав великої кількості багатого на азот свіжого органічного матеріалу забезпечує підвищення біологічного потенціалу ґрунту, покращує поживний режим, посилює в ньому процеси перетворення органічної речовини і формування гумусу [51].

Тому облік маси кореневих решток та дослідження в них кількості поживних речовин має важливе значення для вирішення багатьох важливих теоретичних і практичних питань, зокрема таких як проектування сівозмін, розроблення удобрюваних схем, прогнозування ефективної родючості ґрунтів, потенціалу поживного режиму, рівнів врожайності сільськогосподарських культур, особливо в умовах зменшення поголів’я тварин, а, відтак, зниження обсягів виробництва гною - традиційної органічної складової систем удобрення.

В наших дослідженнях кількість рослинних решток, які накопичувалися в сівозмінах залежала від їх структури, біологічних

[49] Demydenko O. V., Shapoval I. S., Boyko P. I., Velychko V. A. (2018) Parametry produktyvnosti ta struktura fitomasy riznorotatsiynykh sivozmin Lisostepu Ukrayiny [Performance parameters and phytomass structure of rotational crop rotations of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoyi nauky*, no. 5, pp. 54–62 (in Ukrainian). Doi:10.31073/agrovisnyk201805-09

[50] Lopushnyak V. I. (2014) Vplyv system udobrennya na nadkhodzhennya orhanichnykh reshtok u grunti v korotkorotatsiyniy plodozminniy sivozmini Zakhidnoho Lisostepu Ukrayiny [Influence of fertilizer systems on the flow of organic residues in soil in short rotational rotation crop rotation of the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Peredhirne ta hirs'ke zemlerobstvo i tvarynnytstvo*, vol. 56, part 1, pp. 117–123 (in Ukrainian). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pgzt_2014_56(1)__22

[51] Petersen Jan-Erik (2008). Energy production with agricultural biomass: environmental implications and analytical challenges [Energy production with agricultural biomass: environmental implications and analytical challenges]. European Review of Agricultural Economics, no. 35(3), pp. 385–408. Doi: 10.1093/erae/jbn016

особливостей вирощуваних сільськогосподарських культур, рівня їх живлення, урожайності, погодних умов.

Встановлено, що найвищий рівень нагромадження рослинних решток формувався в зерно-кормовій (в сумі за ротацію – 19,13-25,79, в розрахунку на гектар ріллі сівозмінної площі – 4,78-6,45 т/га) та плодозмінній (16,85-23,81 і 4,21-5,95 т/га), найнижчий – в зерно-просапній (11,80-16,40 і 2,95-4,10 т/га) сівозмінах (табл. 5).

Таблиця 5

Нагромадження кореневих решток у сівозмінах, т/га, 2016-2019 рр.

Варіанти досліду	Культури сівозмін				Рослинні рештки	
1	2				3	
зернова 100 % н. з.						
удобрення	горох	пшениця озима	пшениця озима	овес	всього	на 1га ріллі
без добрив	2,74	4,07	3,66	3,55	14,01	3,51
*$N_{51,2}P_{66,2}K_{66,2}$	3,14	5,76	5,95	4,40	19,27	4,82
**$N_{33,1}P_{44,3}K_{44,3}$	2,79	4,73	5,08	3,93	16,52	4,13
зернова 100 % н. з. к.						
удобрення	горох	пшениця озима	кукуруд-за	овес	всього	на 1га ріллі
без добрив	2,60	4,14	5,19	3,61	15,54	3,89
*$N_{66,2}P_{68,7}K_{68,7}$	3,09	5,82	7,73	4,55	21,18	5,29
**$N_{48,1}P_{46,8}K_{46,8}$	2,79	4,82	6,55	4,03	18,19	4,55
зерно-кормова 75 % н. з. к.						
удобрення	конюши-на	пшениця озима	пшениця озима	ячмінь ярий	всього	на 1га ріллі
без добрив	7,56	4,17	4,01	3,40	19,13	4,78
*$N_{45,0}P_{60,0}K_{60,0}$	9,10	5,83	6,13	4,74	25,79	6,45
**$N_{30,0}P_{41,2}K_{41,2}$	8,09	4,80	5,17	4,10	22,12	5,53
плодозмінна 50 % н. з. к.						
удобрення	конюши-на	пшениця озима	картопля	ячмінь ярий	всього	на 1га ріллі
Без добрив	7,66	4,26	1,52	3,42	16,85	4,21
*$N_{52,5}P_{60,0}K_{60,0}$	10,62	5,89	2,77	4,78	23,81	5,95
**$N_{37,5}P_{41,2}K_{41,2}$	8,44	4,88	2,35	4,25	19,66	4,92

Продовження таблиці 5

1	2				3	
зерно-просапна 75 % н. з. к.						
удобрення	гречка	пшениця озима	картопля	ячмінь ярий	всього	на 1га ріллі
Без добрив	2,57	3,99	1,47	3,76	11,80	2,95
*$N_{67,5}P_{75,0}K_{75,0}$	3,42	5,44	2,66	5,13	16,40	4,10
**$N_{45,0}P_{48,7}K_{48,7}$	2,89	4,57	2,38	4,58	14,01	3,50
зернова (66 % н. з. к.)						
удобрення	соя	пшениця озима	пшениця озима	-	всього	на 1га ріллі
$N_{50,0}P_{75,0}K_{75,0}$	2,13	5,02	5,26	-	12,40	4,14
зернова (66% н. з. к.)						
удобрення	боби кормові	пшениця озима	пшениця озима	-	всього	на 1га ріллі
$N_{55,0}P_{75,0}K_{75,0}$	2,62	5,13	5,44	-	13,18	4,39

Примітка. *N – внесення мінеральних добрив сумісно з 10 т/га гною; ** N – внесення мінеральних добрив в комплексі зі заорюванням соломи та сидерату.

По всіх сівозмінах найбільші показники були за традиційних органо-мінеральних систем удобрення. Так, за внесення на фоні гною $N_{51,2}P_{66,2}K_{66,2}$ в зерновій сівозміні (горох-пшениця озима-пшениця озима-овес) накопичення рослинних решток становило в розрахунку на 1 га ріллі 4,82 т/га; $N_{66,2}P_{68,7}K_{68,7}$ в другій зерновій сівозміні (горох-пшениця озима-кукурудза на зерно-овес) – 5,29 т/га; $N_{45,0}P_{60,0}K_{60,0}$ в зерно-кормовій (конюшина лучна-пшениця озима-пшениця озима-ячмінь ярий) – 6,45 т/га; $N_{52,5}P_{60,0}K_{60,0}$ в плодозмінній (конюшина лучна-пшениця озима-картопля-ячмінь ярий) – 5,95 т/га; $N_{67,5}P_{75,0}K_{75,0}$ в зерно-просапній (гречка-пшениця озима-картопля-ячмінь ярий) – 4,10 т/га. За альтернативної системи удобрення при застосуванні половинних від традиційної доз мінеральних добрив на фоні соломи стерневих попередників та заробляння один раз за ротацію післяжнивної сидеральної культури - редьки олійної нагромадження рослинних решток знижувалось за зазначеними сівозмінами на 1,40–1,73 %.

Серед сільськогосподарських культур найбільше рослинних решток залишалось після конюшини лучної (7,56-10,62 т/га) і

кукурудзи на зерно (5,19-7,73 т/га) найменше – після картоплі (1,47-2,77 т/га) і гречки (2,57-3,42 т/га).

ВИСНОВКИ:

Поживний режим сірого лісового ґрунту формується комплексом чинників, визначальне місце серед яких займають системи удобрення сільськогосподарських культур, структура сівозмін, ступінь насичення її одно видовими культурами та кількість органічних сполук, які повертаються в ґрунтове середовище у формі кореневих решток.

Показники поживного режиму набувають вищих значень за традиційної органо-мінеральної системи удобрення: найбільший уміст легкогідролізного азоту (130-136 та 113-115 мг/кг ґрунту), рухомого фосфору (133-142 та 122-128 мг/кг ґрунту) й обмінного калію (116-120 та 104-106 мг/кг ґрунту) під пшеницею озимою в орному та підорному шарах був на час відновлення весняної вегетації після попередника пшениці озимої в зерновій сівозміні на варіантах безпосереднього внесення $N_{60}P_{90}K_{90}$ і 40 т гною.

В альтернативній органо-мінеральній системі удобрення з внесенням половинних від традиційної доз мінеральних добрив в поєднанні з побічною продукцією стерневих попередників та заорюванням післяжнивної сидеральної культури формується нижчий рівень показників поживного режиму. Зокрема, за внесення під пшеницю озиму $N_{30}P_{45}K_{45}$ на фоні соломи й зеленої маси редьки олійної вміст легкогідролізного азоту, рухомого фосфору й обмінного калію був меншим на 4,4 і 1,7 %, 6,3 й 4,7 %, 3,3 і 1,9 % відповідно за елементами живлення рослин в порівнянні до традиційної системи.

Найвищий рівень нагромадження рослинних решток, як джерела поживних речовин в ґрунті формується в зерно-кормовій (в сумі за ротацію – 19,13-25,79, в розрахунку на гектар ріллі сівозмінної площі – 4,78-6,45 т/га) та плодозмінній (16,85-23,81 і 4,21-5,95 т/га) сівозмінах, найнижчий – в зерно-просапній (11,80-16,40 і 2,95-4,10 т/га) сівозмінах.

Найбільша кількість кореневих рослинних решток сільськогосподарських культур залишається в ґрунті після конюшини лучної (7,56-10,62 т/га) і кукурудзи на зерно (5,19-7,73 т/га) найменше – після картоплі (1,47-2,77 т/га) і гречки (2,57-3,42 т/га).

РОЗДІЛ 4

АЗОТНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТУ В КОРОТКОРТАЦІНИХ СІВОЗМІНАХ ЗА ЕКОЛОГІЗОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ

Екологічний стан земель України сільськогосподарського призначення сьогодні викликає занепокоєння. З посиленням господарської діяльності людини загострились негативні явища, пов'язані з деградацією і втратою родючості ґрунту. Особливо небажаний прояв антропогенного впливу на ґрунтове середовище проявляється в агроекосистемах де нераціональне, науково необґрунтоване застосування засобів хімізації, систем удобрення призводить до зміни його основних показників родючості, до розбалансування і втрати стійкості екосистеми в цілому [52], [53], [54].

Сучасні умови ведення землеробства характеризуються істотним зменшенням використання органічних добрив, що зумовлено різким зменшенням поголів'я худоби і відповідно виробництва гною. Тому виникає потреба у поповненні органічної речовини ґрунту шляхом застосування альтернативних органічних добрив як передумови створення сприятливих для культурних рослин агрохімічних та біологічних властивостей ґрунту. Важливого значення в землеробстві набувають такі види органічних добрив, як нетоварна частина врожаю (солома, гичка), зелена маса сидеральних культур, тощо [55], [56], [57].

[52] Tarariko O.H. (1999) Biolohizasiia gruntozakhysnoho zemlerobstva [The biologization of the soil-conservation agriculture]. Bulletin Agricultural Science, No 10, p. 5-9.

[53]. Kysil V. I. (2003) Formuvannia ekolohichno bezpechnoho vyrobnystva v Ukraini [The formation of the ecologically safe production in Ukraine] Bulletin of Agrocultural Science, no 2, pp. 10-12.

[54] . Bomba M. Ya. (2007) Suchasni tendentsii rozvytku svitovoho zemlerobstva [The current trends in the development of the world agriculture] Visnuk NAV Ukrainy, no. 12, pp. 34-40. URJ: http://dspace.nbuv.gov.ua/hangle/12345679/2104

[55] Saiko V. F. (2012) Zemlerobstvo v sychasnykh umo vokh [The agriculture in madern conditions].Bulletin of Agricultural Science, no. 5, pp. 5-10.

[56] Tsyhichko H. O., Macliuk O.I. (2015) Efektyvnist zastosuvania biodobryv yak stymuliuvalnoho faktora rovytku silskohospodarskykh kultur na pochatku ontohenezu [The effectiveness of biofertilizers as a stimulating factor of the development of crops at the beginningof ontogenesis]. Bulletin of Agricultural Science, vol. 93. no. 3.pp. 12-16. DOI http://doi.org10.31073/agrovisnyk201503-02

[57] Vlasiuk O. S., Kovachuk N. V. (2018) Efektyvnist bakterialnykh preparativ zalezhno vid udobrennia pshenytsi yaroi [The effectiveness of bacterial preparations depending on the fertilization of spring wheat]. *Silskohospodarska mikrobiolohiia*, iss. 27, pp. 18–23. ISSN 1997-3004.

Одним із найбільш важливих елементів для вирощування пшениці озимої є азот. Надходження азоту в рослини проходить досить інтенсивно із початку росту і розвитку. Найбільша потреба в азоті спостерігається в період від початку кущення до колосіння і в період наливу зерна. Нестача азоту в першій половині вегетації знижує урожайність, а в другій – погіршує його якість [58].

Азот внесених добрив має значний вплив на фізіологічні процеси, що відбуваються в рослині, сприяє швидкому наростанню вегетативної маси, підвищує коефіцієнт фотосинтезу [59].

Відомо, що основна маса азоту у ґрунті міститься у вигляді складних органічних сполук, на які припадає біля 96,5 % загального його вмісту. Мінеральні сполуки азоту становлять біля 5 % [60]. Рухомі мінеральні сполуки азоту які знаходяться в ґрунті, це: обмінний амоній та нітрати. Їх роль в живленні рослин не однакова. Нітрати є основною формою азотного живлення рослин. Цінність ґрунтового поглинутого амонію, як джерела азоту менша і наявний уміст досить значної його кількості в ґрунті ще не означає доброї забезпеченості рослин цим елементом живлення. Амонійна форма азоту порівняно з нітратною менш доступна для рослин, особливо на кислих ґрунтах. Основна частка амонію знаходиться в ґрунті в поглинутому стані, а кисла реакція ґрунтового розчину не сприяє процесу нітрифікації [61].

Уміст мінеральних сполук азоту в ґрунті динамічний в часі, вони легкорухомі, легкорозчинні та легкодоступні. Не менш важливим є вміст легкогідролізованого азоту, який є найближчим резервом мінерального – і за науковими даними, збільшення його вмісту

[58] Mazurkevych L. I. (2014) Vplyv tryvaloho zastosuvannia dobryv na vmist pozhyvnykh elementiv u grunti, vrozhainist pshenytsi yaroi ta yakist zerna [The influence of long-term application of fertilizers on the content of nutrients in the soil, spring wheat yield and grain quality]. *Naukovyi visnyk natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy: ahronomiia*, vol. 195, no. 1, pp. 78–84. URL:htpp://www.irbis-nbuv,gov.ua/cgi-bin/irbisnbuv/cgiirbis64.exeC200M=2@121DBN=1@Imagefilename=PDF/nvnauagr2014195(1)14pdf

[59] Baliuk S. A., Nosko B. S., Vorotyntseva L. I. (2018) Rehuliuvannia rodiuchosti gruntiv ta efektyvnosti dobryv v umovakh zmin klimatu [The regulation of soil fertility and fertilizer efficiency upon conditions of climate change]. *Bulletin Agricultural Science*, no. 4, pp. 5–12. http://agrovistyk.com/pdf/ua20180401pdf

[60] Melnychuk M., Khofman Dzh., Horodnii M. (2004) *Yakist gruntiv ta suchasni stratehii udobrennia* [Soil quality and modern fertilization strategies]. Kyiv: Aristei. (in Ukrainian)

[61] Marchuk I. U. (2010) Problema azotu v zemlerobstvi [The problem of nitrogen in agriculture]. *Propozytsiia*, no. 1, pp. 62–68c.

особливо відчутне за органо-мінеральних систем удобрення [62]. Велике значення в цих процесах належить нітрифікаційній здатності ґрунту [63]. В сірому лісовому ґрунті з низьким рівнем гумусу загальні запаси азоту не перевищують 4-5 т/га в гумусному горизонті. Катіони амонію та аніони нітратів, які утворюються внаслідок мінералізації азотовмісної речовини та вносяться з добривами є головним джерелом живлення для рослин [64].

Через значну кислотність ґрунту і малосприятливий водно-повітряний режим сірих лісових ґрунтів нітрифікаційна здатність цих ґрунтів є низькою і сільськогосподарські культури відчувають постійний дефіцит азоту, тому позитивно реагують на внесення добрив. Вивчення динаміки вмісту азоту в ґрунті, а також визначення оптимальних шляхів його надходження та забезпечення рослин було і залишається важливим завданням сучасної агрохімічної науки. В той же час сумісне використання вторинної рослинницької продукції та елементів «тихих технологій»: гумусні добрива, хелатні добрива, рістрегулюючі сполуки та їх вплив на азотний режим грунту є на сьогодні маловивченим і становить відповідний науковий інтерес, з точки зору як поліпшення азотного режиму грунту так і його екологічного стану.

Дослідження впливу екологізованих систем удобрення на азотний режим ґрунту проводили у стаціонарному досліді по вивченню продуктивності короткоротаційних сівозмін, закладеному в 2001 р. У досліді передбачено такі варіанти: 1. Контроль (без добрив); 2. Солома гороху; 3. Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС; 4.Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД, 5. $N_{60}P_{90}K_{90}$ + БС; 6. $N_{60}P_{90}K_{90}$ + БС + післядія гною; 7. $N_{60}P_{90}K_{90}$ + БС + ГД. Представлені результати

[62] Veha N. I. (2015) Zmina vmistu luzhnohidrolizovanoho azotu v temno-siromu opidzolenomu grunti pid vplyvom mineralnoho udobrennia yachmeniu yaroho [The change of the content of alkaline hydrolyzed nitrogen into the dark gray podzolic soil under the influence of mineral fertilizing of spring barley]. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*, iss. 83, pp. 100–104. ISSN1997-3004.

[63] Borivskyi A. F., Shymanovska N. K., Savchuk K. A. (2013) Produktyvnist kultur zerno-buriakovoi sivozminy v zalezhnosti vid dobryv [The productivity of the cultures in grain-beet crop rotation depending on fertilizers]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*, iss. 18, pp. 110–114. http://bioenergy.gov.ua/siles/defatual/files/articles/18-110.pdf

[64] Kulieshov M. M., Filonenko T. A. (2004) Dynamika ta variabelnist rukhomykh spoluk azotu u chornozemi typovomu livoberezhzhia Lisostepu [The dynamics and variability of mobile nitrogen compounds in chernozem typical of the left bank of the Forest-Steppe]. *Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahrokhimiia*, no. 1, pp. 212–216.

досліджень азотного режиму під час вегетації пшениці озимої на сірому лісовому ґрунті, за умов екологізованих систем удобрення.

Агрохімічна характеристика шару ґрунту 0-30 см до закладки досліду така: pH_{KCl} ґрунту сольове – 4,85, гідролітична кислотність за Каппеном 2,48 мг-екв/100г грунту, вміст рухомого фосфору за Кірсановим 10,8 і обмінного калію 8,7 мг/100 г ґрунту, вміст легкогідролізованого азоту за Корнфілдом 9,8 мг/кг грунту, загального азоту за Тюріним-Нікітіним 2,1 %. Дослідження динаміки різних форм азоту сірого лісового ґрунту проводили під час вегетації пшениці озимої в фазах – весняне кущення, колосіння та воскова стиглість. Зразки ґрунту відбирали та готували згідно з ДСТУ ISO 11464-2001. У зразках визначали вміст нітратного азоту – іонометричним методом (ДСТУ 4729-2007), амонійного азоту – фотоколориметрично за допомогою реактиву Неслера (ГОСТ 26489-85), легкогідролізованого азоту за Корнфільдом та нітрифікаційну здатність за Кравковим.

Гідротермічні умови вегетації пшениці озимої

Аналіз метеорологічних умов вирощування пшениці озимої показав, що впродовж вегетаційного періоду (жовтень-липень) 2016-2019 рр. кількість опадів перевищувала середньобаготорічні на 114 мм тільки в 2017-2018 рр. (рис. 1).

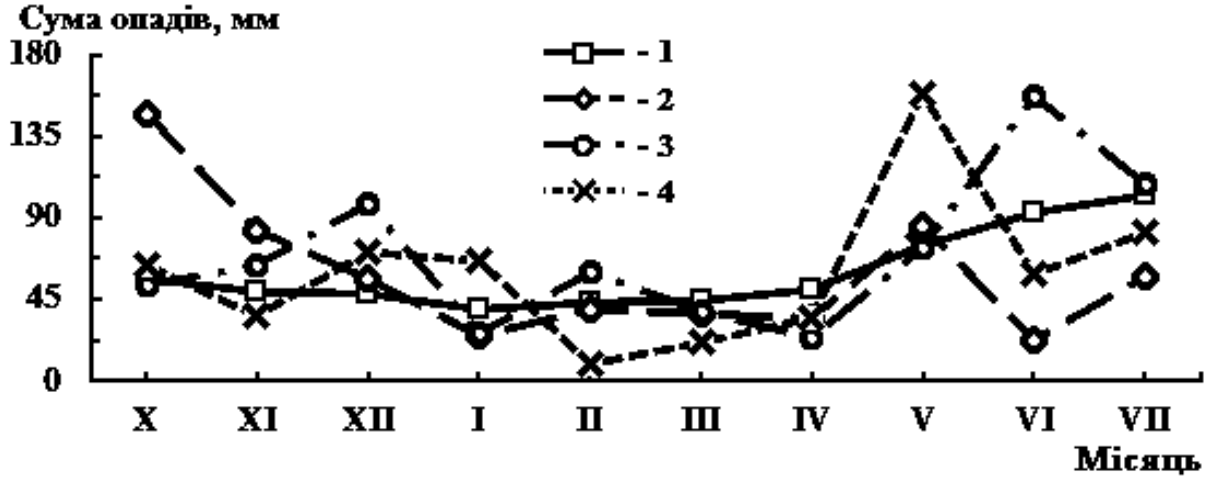


Рис. 1. Динаміка опадів за вегетаційний період пшениці озимої, мм. 1 – середні багаторічні; 2 – 2016 – 2017 рр.; 3 – 2017 – 2018 рр.; 4 – 2018 – 2019 рр.

Однак упродовж вегетаційного періоду 2016-2017 та 2018-2019 років розподіл опадів був нерівномірний, відмічались періоди зі зливами. Наприклад, у жовтні 2016, червні 2018, травні, липні 2019 р., опадів випало вдвічі більше норми. Разом з тим ефективність від збільшення опадів частково нівелюється інтенсивним підвищенням температури повітря особливо в літні місяці. Упродовж вегетаційного періоду 2016-2017 рр. кількість опадів за (V-VII) місяці була на 106 мм менша від середньої багаторічної. В той же час цей період відзначено перевищення температури повітря над середньобагаторічними даними (на 1,3°С. рис. 2), проте умови росту для пшениці озимої були задовільними.

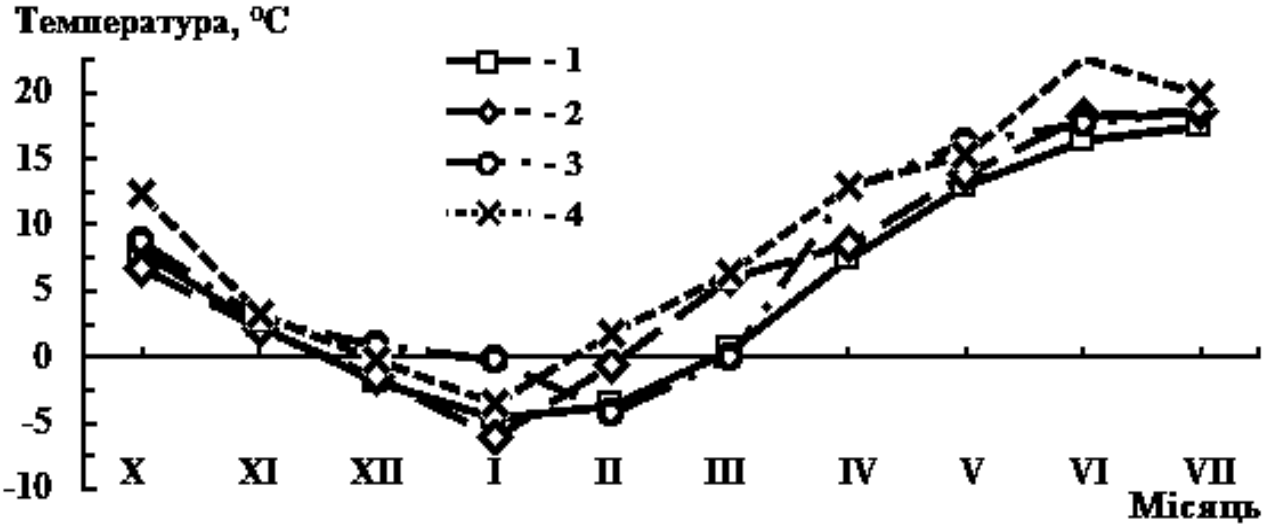


Рис. 2. Динаміка температури повітря за вегетаційний період пшениці озимої, °С. 1 – середні багаторічні; 2 – 2016 – 2017 рр.; 3 – 2017 – 2018 рр.; 4 – 2018 – 2019 рр.

Аналіз середньомісячних температур повітря свідчить про підвищення температур упродовж усього року з найбільшим відхиленням від норми в період січень-травень. На початку вегетації пшениці озимої (жовтень-листопад) погодні умови за температурним режимом наближались до середньобагаторічних, а за кількістю опадів були певні перевищення, зокрема у жовтні 2016 року, що негативно позначилось на рослинах в період початкового органогенезу.

Для весняного періоду 2019 року (III, IV, V – місяці) було характерне перевищення сумарної кількості опадів на 46 мм, щодо

середньобагаторічної, а в 2017 та 2018 роках їх часткова нестача (рис. 1). Такі погодні умови позначились на екологічному стані ґрунту й перебігу основних біологічних процесів. У першому випадку створювались сприятливі умови для нітрифікаційних та амоніфікаційних процесів. В той же час ензимний комплекс в умовах нестачі вологи знижував біохімічну активність трансформації азоту, що погіршило азотний режим сірого лісового ґрунту в умовах досліджень.

Зіставивши криві динаміки температури повітря і кількості опадів за періоди вегетації пшениці озимої відзначено, що весняні періоди 2017 та 2018 років були майже рівноцінними і характеризувались як теплі з оптимальною кількістю опадів, весна 2019 року характеризувалась як особливо тепла з надмірною кількістю опадів.

Таким чином за періоди вегетації пшениці озимої відмічені певні особливості. Сума опадів за вегетаційний період знаходились в межах норми (599-602 мм), окрім 2017-2018 рр, коли вона виявилась вищою на 114 мм. Відмічені опади у вигляді злив, зокрема в весняно-літній період, що погіршує функціонування ензимного комплексу грунту та азотного живлення рослин.

В оптимізації азотного живлення пшениці озимої значну роль відіграють екологізовані системи удобрення.

Азотний режим грунту під пшеницею озимою за екологізованих систем удобрення

Проведені дослідження показали, що залежно від екологізованих систем удобрення вміст мінеральних форм азоту під час вегетації пшениці озимої в шарі ґрунту 0-30 см був різним.

Заорювання лише соломи гороху (варіант 2) знизило сумарний вміст амонійного та нітратного азотів, щодо контролю на 0,5 мг/кг, зокрема вміст нітратного азоту виявився найнижчим у фазі кущення і становив 28,7 мг/кг грунту (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив екологізованих систем удобрення на динаміку мінеральних форм азоту ($N\text{-}NO_3^- + N\text{-}NH_4^+$) та урожайність пшениці озимої.

№ вар.	Вміст $N\text{-}NO_3^- + N\text{-}NH_4^+$ протягом вегетації, мг/кг ґрунту			Урожайність, т/га
	Весняне кущення	Колосіння	Воскова стиглість	
1	28,2	19,3	9,4	2,86
2	28,7	18,7	11,3	2,91
3	31,2	23,8	15,7	3,42
4	38,8	25,4	17,8	3,86
5	39,0	25,2	18,4	4,73
6	39,2	32,5	22,9	5,08
7	38,9	28,5	22,6	4,92
$НІР_{0,05}$, т/га				0,17

Найбільш інтенсивне нагромадження нітратного та амонійного азоту ($N\text{-}NO_3^-$ + $N\text{-}NO_4^+$) під пшеницею озимою у фазі кущення спостерігали у варіанті блоку І на базі соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД. За вказаних умов був сформований найвищий урожай зерна пшениці озимої у цьому блоці: 3,86 т/га (табл. 1). При цьому вміст нітратного азоту в фазі кущення становив 12,2 мг/кг, а на контролі 8,1 мг/кг ґрунту (рис.3).

За мінеральної системи удобрення із застосуванням $N_{60}P_{90}K_{90}$ віст рухомих сполук азоту є на рівні 39,0 мг/кг, зокрема нітратного 13,2 мг/кг. Система удобрення з використанням $N_{60}P_{90}K_{90}$ на фоні післядії гною виявилась більш ефективною, забезпечивши вміст нітратного азоту на рівні 15,4 мг/кг. За умов внесення гумусного добрива на мінеральному фоні відзначено збільшення вмісту нітратного азоту, щодо варіанту 5 на 4,5 мг/кг (рис.3).

За систем удобрення на базі $N_{60}P_{90}K_{90}$ (блок ІІ), сумарний вміст мінеральних форм азоту досягав 38,9-39,2 мг/кг (табл. 1), з них нітратного 13,2-17,7 мг/кг. За таких умов урожай пшениці озимої

дорівнював 4,73-5,08 т/га проти 2,86 т/га контролю без добрив (табл.1).

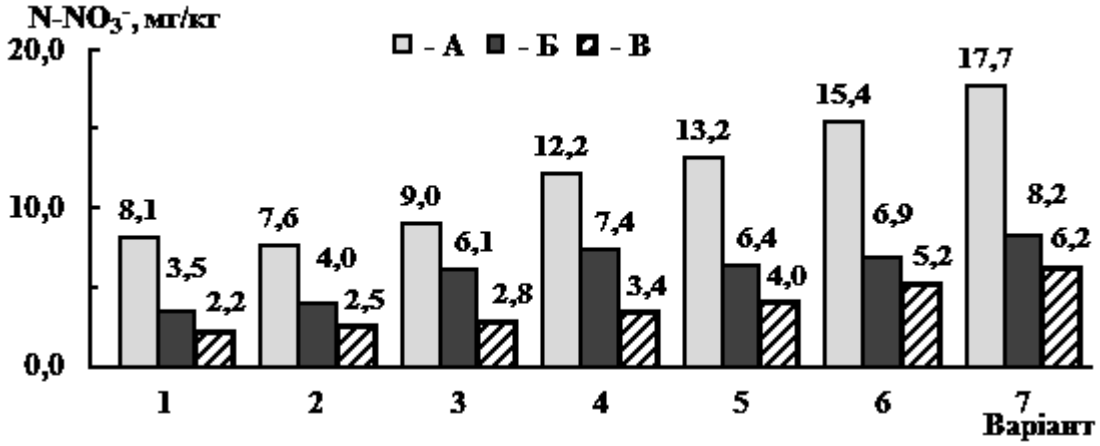


Рис. 3. Динаміка нітратного азоту ($N\text{-}NO_3^-$) у ґрунті (шар 0 – 30 см) під пшеницею озимою залежно від систем удобрення. А – світлі стовбці – фаза кущення; Б – темні стовпці – фаза колосіння; В – заштриховані стовпці – фаза воскової стиглості.

Слід відмітити, що всі системи удобрень збільшували запаси мінеральних сполук азоту у ґрунті, відповідно збільшувався вміст нітратного азоту.

Однак з настанням періоду активної вегетації пшениці озимої показники кількості нітратного азоту в ґрунті стрімко зменшувались і вже на початку колосіння пшениці мали менші величини, ніж в період кущення. Почався процес так званої прихованої нітрифікації, коли нітратний азот, що безумовно утворювався і надходив до ґрунтового розчину, швидко поглинався рослинами, унаслідок чого в ґрунті постійно фіксувалася незначна його кількість. На початку фази – воскової стиглості відзначено незначне зниження вмісту нітратного азоту в порівнянні до фази колосіння, що не в останню чергу обумовлено недостатністю вологи в цей період.

Розглядаючи вплив екологізованих систем удобрення за вирощування пшениці озимої на сірому лісовому ґрунті на нітрифікаційну здатність (рис. 4) було встановлено загальну тенденцію: при використанні екологізованих систем удобрення відзначено активізацію нітрифікаційних процесів, особливо

відчутною вона проявилась у фазі весняного кущення 1,27-1,72 N-NO_3^- /100 г ґрунту (рис. 4).

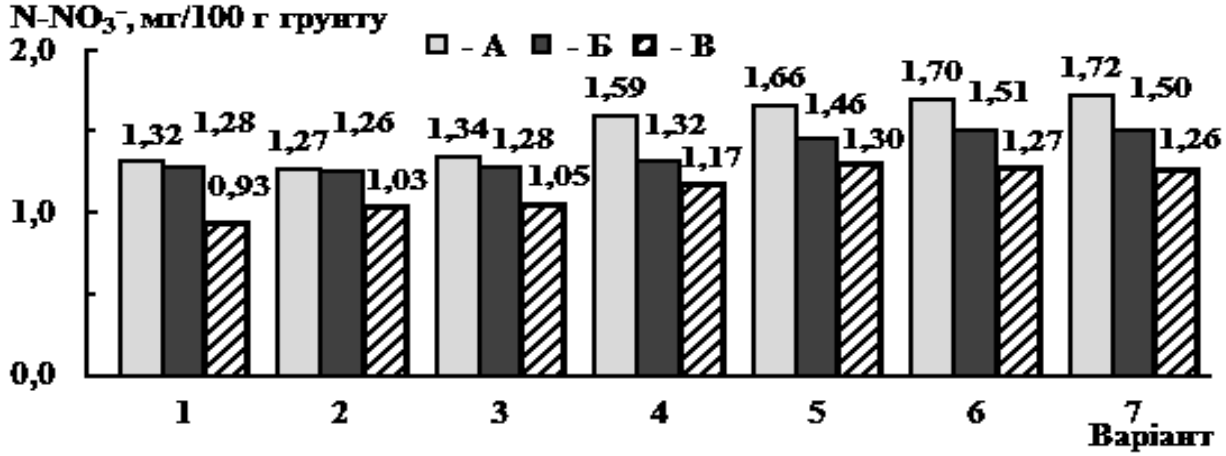


Рис. 4. Динаміка нітрифікаційної здатності у шарі ґрунту 0 – 30 см під пшеницею озимою залежно від системи удобрення. За віссю абсцис – дослідний варіант; за віссю ординат – нітрифікаційна здатність, N-NO_3^-, мг/100 г ґрунту. А – світлі стовбці – фаза кущення; Б – темні стовпці – фаза колосіння; В – заштриховані стовпці – фаза воскової стиглості.

У літній період вегетації пшениці озимої (фаза колосіння) нітрифікаційна здатність ґрунту була на 14-17% менша, ніж в період кущення. Однак ми не вважаємо це негативним процесом, оскільки в цей період вегетації переважають іммобілізаційні процеси, а також виділення азоту в атмосферу. При застосуванні $N_{60}P_{90}K_{90}$ на фоні післядії гною або сумісно з ГД відмічена помітна активізація нітрифікаційних процесів - в середньому на 17-20%, стосовно контролю, що свідчить про вагому біохімічну активність процесів трансформації азоту. В кінці вегетації (воскова стиглість) нітрифікаційна здатність ґрунту за умов недостатності вологи була на найнижчому рівні (рис. 4).

Серед мінеральних сполук азоту важливе значення у живленні рослин має амонійний азот, який є динамічний у часі, легкорухомий і може в значній мірі виступати критерієм забезпеченості ґрунту доступним азотом.

У польових умовах роль аміаку та нітратів у живленні рослин неоднакова. Цінність ґрунтового поглинутого амонію як джерела азоту менша і наявність досить значної його кількості в ґрунті ще не означає доброї забезпеченості рослин цим елементом живлення. Слід зазначити, що амонійна форма азоту порівняно з нітратною є менш доступною для рослин, особливо на кислих ґрунтах. Оскільки основна частина амонію знаходиться в ґрунті в поглинутому стані, а кисла реакція ґрунтового розчину не сприяє процесу нітрифікації. Відзначено, що вміст амонійного азоту зазнав змін за екологізованих систем удобрення.

У варіанті контролю та заорювання соломи гороху вміст амонійного азоту є найнижчий і становить в фазу кущення 20,1-21,1 мг/кг ґрунту (рис. 5).

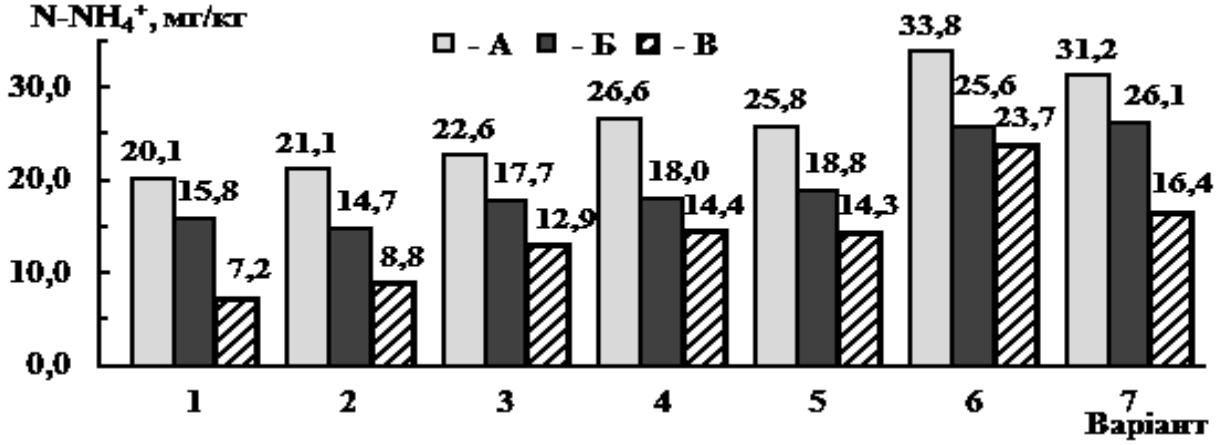


Рис. 5. Динаміка амонійного азоту ($N\text{-}NH_4^+$) у шарі ґрунту 0 – 30 см під пшеницею озимою залежно від системи удобрення. А – світлі стовбці – фаза кущення; Б – темні стовпці – фаза колосіння; В – заштриховані стовпці – фаза воскової стиглості.

Найбільш інтенсивне нагромадження амонійного азоту в ґрунті під пшеницею озимою у блоці І спостерігали у варіанті 4, за умов використання соломи + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД. При цьому вміст амонійного азоту у фазі кущення становив 26,6 мг/кг. У варіанті мінеральної системи удобрення з внесенням під пшеницю озиму $N_{60}P_{90}K_{90}$, вміст амонійного азоту в шарі ґрунту 0-30 см становив 25,8 мг/кг ґрунту. Слід зазначити, що мінеральні добрива підкислюють ґрунт, в результаті частково йде блокування

ферментних систем азотного обміну, що призводить почасти до погіршення процесів поглинання амонійного азоту.

Найбільш інтенсивне нагромадження амонійного азоту в ґрунті під пшеницею озимою спостерігали у варіантах органо-мінерального удобрення на фоні $N_{60}P_{90}K_{90}$ з внесенням гумусного добрива або на базі післядії гною. При цьому вміст амонійного азоту в фазі кущення становив: 31,2 та 33,8 мг/кг ґрунту (рис. 5).

У міру росту та розвитку рослин пшениці озимої спостерігали зменшення вмісту амонійного азоту. За сумісного внесення $N_{60}P_{90}K_{90}$ + БС + ГД в фазі кущення пшениці озимої його вміст становив - 31,2, у фазі колосіння 26,1, то в кінці вегетації 16,4 мг/кг ґрунту відповідно.

Кількість легкогідролізного азоту в ґрунті під пшеницею озимою змінювалася залежно від екологізованих систем удобрення аналогічно до зміни вмісту нітратного та амонійного азоту (рис. 6).

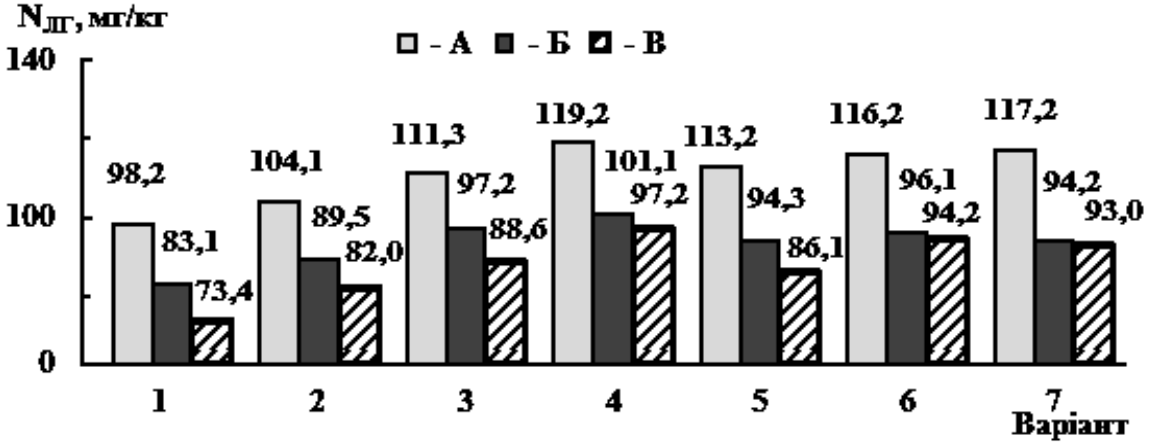


Рис. 6. Зміни вмісту легкогідролізного азоту ($N_{лг}$) в шарі ґрунту 0 – 30 см під пшеницею озимою залежно від екологізованих систем удобрення. А – світлі стовбці – фаза кущення; Б – темні стовпці – фаза колосіння; В – заштриховані стовпці – фаза воскової стиглості.

Легкогідролізний азот є найближчим резервом мінерального азоту. Під пшеницею озимою в умовах досліду його вміст коливався від 99,2 до 119,2 мг/кг грунту (рис. 6). Так у варіантах контролю та заорювання соломи гороху вміст легкогідролізного азоту в шарі

грунту 0-30 см становив 98,2 та 104,1 мг/кг в фазі кущення. Найбільший уміст легкогідролізного азоту в грунті на фоні соломи гороху відмічено за органо-мінеральної системи удобрення: солома + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД, його рівень 119,2 мг/кг. На фоні мінеральних добрив уміст даного різновиду азоту був на рівні 116,2 та 117,2 мг/кг. Слід відмітити, що у фазі кущення спостерігається найвищий рівень легкогідролізного азоту, що на нашу думку пов'язано з низьким рівнем його постачання з грунту рослинами і використання ними більш доступних форм азоту – нітратної та аміачної.

Тенденція до зменшення вмісту легкогідролізованого азоту в грунті відмічена у фазі колосіння, що на нашу думку пов'язано зі зменшенням умісту легкодоступних форм азоту і збільшенням використання його рослинами. Уміст його у згаданій фазі за систем удобрення становив 89,5-101,1 мг/кг, що на 6-14 мг/кг грунту більше, порівняно до контролю (без добрив). Найбільший вміст легкогідролізованого азоту в фазі колосіння забезпечили системи удобрення на фоні соломи гороху: 97,2-101,1 мг/кг грунту.

Перед збиранням пшениці озимої найбільший вміст легкогідролізованого азоту відмічено на фоні соломи з додаванням гумусного добрива і за післядії гною на фоні внесення $N_{60}P_{90}K_{90}$ – 97,2 та 94,2 мг/кг грунту (рис. 6).

Відомо, що вміст азоту в сірих лісових грунтах є в мінімумі, порівнянно з фосфором та калієм. На вищих фонах удобрення при формуванні більших урожаїв легкогідролізовані органічні сполуки швидше піддаються нітрифікації, мінералізації, інтенсивніше використовуються і тому чіткої залежності щодо нагромадження легкозасвоюваних його форм за варіантами досліду не виявлено. Очевидно, що легкогідролізовані азотні сполуки в умовах сірого лісового грунту, що утворюються при розкладі органічних рослинних решток, соломи, гною в першу чергу використовуються як джерело живлення, внаслідок чого слабо включаються в органічну частину грунту.

ВИСНОВКИ:

Таким чином, гідротермічні умови вирощування пшениці озимої виявились задовільними, але вирізнялись певними особливостями: випаданням зливових дощів в весняно-літній період та підвищенням середньомісячних температур повітря на 0,6-2,4°С, що забезпечувало оптимальний рівень азотного режиму грунту.

Встановлено, що закономірності динаміки нітратного, амонійного та легкогідролізованого азоту за екологізованих систем удобрення виявились подібними: від найвищих значень у фазі кущення до найнижчих в період воскової стиглості пшениці озимої.

Частка різних видів азоту сірого лісового грунту змінювалась у незначному діапазоні. Очевидно, що перехід азоту з одного стану в інший проходить досить швидко, що обумовлено агрохімічними властивостями грунту.

Сумісне внесення на сірому лісовому грунті під пшеницю озиму соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД поліпшувало азотний режим живлення протягом вегетації пшениці озимої, підвищуючи вміст нітратного, амонійного та легкогідролізного азоту в 1,3-1,6 рази порівняно з контролем без добрив, що забезпечило отримання урожаю 3,86 т/га.

Застосування систем удобрення на базі $N_{60}P_{90}K_{90}$ сумісно з гумусним добривом або на фоні післядії гною забезпечило підвищення відповідних форм азоту в 1,3-2,1 рази та формування урожаю пшениці озимої на рівні – 4,92-5,08 т/га.

РОЗДІЛ 5

ВПЛИВ ЕКОЛОГІЗОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА ЙОГО ЯКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Продовольча проблема в наш час має глобальний характер, оскільки потреба в зерні перевищує його виробництво, внаслідок чого мільйони людей можуть бути на грані голоду. Постає питання збільшення продуктивності зернових культур, яка в значній мірі ґрунтується на генетичній основі, а також на покращенні базових систем удобрення, однак не на розширенні площ орних земель, що вже й так досягло межі екологічної безпеки.

За останні 20 років відзначено зниження природної ґрунтової родючості, що потребує пошуків і удосконалення технологій вирощування пшениці озимої, яке має бути спрямоване на стабілізацію та покращення ґрунтового стану, підвищення врожайності сільськогосподарських культур та поліпшення їх якості. Передумовою негативних процесів в цьому питанні є певні причини: відсутність внесення органічних добрив, обмеження обсягів використання мінеральних та недотримання наукової побудови сівозмін [65], [66], [67].

В зв’язку з цим використання екологізованих систем удобрення може стати чинником збереження родючості, збалансованого та повноцінного живлення рослин і покращення якості врожаю сільськогосподарських культур. Це забезпечить в значній мірі також поліпшення екологічної ситуації. До складу екологізованих систем удобрення можуть входити вторинна рослинна продукція (солома попередника, гичка, стебла кукурудзи, заорювання сидератів) та

[65] Бомба М. Я., Періг Г. Т., Рижук С. М. (2003) *Землеробство з основами ґрунтознавства, агрохімії та агроекології. Навчальнийпосібник*. Київ: Урожай. (in Ukrainian)

[66] Сайко В. Ф. (2004) Сучасні технології вирощування конкурентоспроможного зерна. *Збірник наукових праць ННЦ “Інститут землеробства УААН”*,спец. вип., С. 26–31.

[67] Попов С. І., Фурсова Г. К., Авраменко С. В., Леонов О. Ю. (2014) Формування якості зерна пшениці озимої залежно від системи удобрення за різних погодних умов. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*, Вип. 17, С. 50–59.

відповідні складові: біологічні, зокрема мікробіологічні, гумусні, хелатні добрива, біостимулятори, тощо [68], [69].

Ряд авторів вказують, що використання біологічних препаратів за умов інкрустації насіння чи обробки посівів пшениці озимої (сорт Царівна) сприяло збільшенню врожаю на 0,57-0,62 т/га [70]. Виявлено, що такі заходи запобігають також зниженню ураження рослин кореневими гнилями, септоріозом листя та гарантуютьпідвищення вмісту сирого протеїну та клейковини в зерні на 0,6-0,9 % і 1,3-1,5 % відповідно [71].

Досліджено, що проведення позакореневого підживлення хелатними добривами виявилось ефективним, щодо врожайності пшениці озимої, однак ще більш ефективним є листкове внесення таких добрив. В умовах Лівобережного Лісостепу на чорноземі внесення Басфоліару 3 Екстра в посівах пшениці озимої сортів Епоха одеська та Царичанка забезпечило підвищення врожаю на 0,7-0,9 т/га та вмісту білка в зерні в межах 1,7-3,0% [72], [73].

Важливим компонентом екологізованих систем удобрення є гумусні добрива. Вони широко використовуються для внесення в ґрунт, активізуючи при цьому аборигенну мікрофлору, покращують родючість ґрунту, його біологічну активність. Серед них особливо ефективним є гумінове універсальне добриво “Humin plus” в складі якого гумінові кислоти, вітаміни, ферменти у природно збалансованих пропорціях. Застосування його в посівах кукурудзи на

---

[68] Корнійчук О. В., Плотніков В. В., Гильчук Г. Г., Рой А. О., Скороход І. О., Курдиш І. К. (2018) Вплив комплексного бактеріального препарату Азогран на врожайність пшениці озимої. *Сільськогосподарська мікробіологія*, Вип. 27, С. 67–73.

[69] Волкогон В. В. (ред.), Надкернична О. В., Ковалевська Т. М., Токмакова Л. М., Копилов Є. П., Козар С. Ф., Толкачов М. З., Мельничук Т. М., Чайковська Л. О., Шерстобоев М. К., Москаленко Л. М., Халеп Ю. М. (2006) *Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика*. Київ: Аграрна наука. (in Ukrainian).

[70]Курдиш І. К. (2010) *Інтродукція мікроорганізмів у агроекосистеми*. Київ: Наукова думка.. (in Ukrainian).

[71]. Бикін А. В. (2010) Роль оптимізації живлення та удобрення пшениці озимої шляхом позакореневого підживлення на фоні твердих добрив у підвищенні якості зерна, борошна і хліба в умовах правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія*, Вип.149, С. 96–108

[72]Богдан М. М., Карпенко В. П., Гуляєва Г. Б. (2015) Вплив комплексних хелатних добрив на функціональну активність тканин коренів і зернову продуктивність рослин пшениці м'якої озимої. *Вісник Уманського національного університету садівництва*, № 1, С. 37–42.

[73] Шакалій С. М. (2017) Якість зерна пшениці м'якої озимої за використання позакореневого підживлення в умовах лівобережного Лісостепу України.*Наукові доповіді НУБіП України*,№ 1 (65),С. 76–84.DOI10.31548/dopovidi2017.01.007URL: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/dopovidi2017.01.007/7755. http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/dopovidi2017.01.007/7755.

зерно забезпечило позитивний вплив на оліготрофність мікробного ценозу та підвищення врожаю на 14 % [74].

На сучасному етапі розвитку сільського господарства для ефективної біологізації систем удобрення використовуються стимулятори росту біологічного походження [75], [76]. Під дією регуляторів росту радостим та трептолем проходить прискорений поділ клітин, ризогенез, посилення фотосинтетичної активності та інтенсивний розвиток листової поверхні, поліпшення якості вирощеної продукції, збільшення врожаю [77].

Врожайність культури і якість врожаю, зокрема вміст клейковини, білка, вміст зольних (Ca, Mg) та мікроелементів (МЕ) залишається важливим питанням,яке можна в значній мірі вирішити використовуючи екологізовані системи удобрення.

Достатня кількість кальцію та магнію є необхідною умовою нормального фізіологічного розвитку рослин та отримання високих урожаїв пшениці озимої. Кількісна характеристика вмісту кальцію та магнію залежить від виду та сорту культури. Магній характеризується здатністю до реутилізації, він входить до складу хлорофілу та впливає на активність окисно-відновних процесів, необхідний для синтезу білка, локалізується Mg^{+2} в зародку насінини. Кальцій є важливим у системі внутрішньоклітинної сигналізації у рослин і необхідний на всіх етапах її розвитку. Він входить до складу клітинної стінки і перешкоджає її осмоленню [78].

---

[74]Найдьонова О. Є. (2015) Застосування гумінового препарату Humin plus в органічному землеробстві. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*, № 2, С. 39–50. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vkhnau_grunt_2015_2_8.pdf.

[75] Ponomarenko S. P., Cheremkha B. M., Anishyn L. A. (1997) *Biostymuliatory rostu roslyn novoho pokolinnia v tekhnolohiiakh vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur* [Biostimulators of plant growth of a new generation in technologies for growing crops].Kyiv:Minsilhosprod Ukrainy. (in Ukrainian) .

[76] Волкогон В. В. (2001) Стимулятори росту рослин як складові технологій раціонального використання мінеральних добрив. *Вісник Харківського державного аграрного університету,* № 4, С. 40–44.

[77] Пономаренко С. П. (2008) Регулятори росту в рослинництві – український прорив.Матеріали*IV Міжнародної науково-практичної конференції"Radostim 2008. Біологічні препарати в рослинництві"(Україна, Київ, 10–13 Червень 2008)*, Київ: Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАНУ, Національний комплекс "Експоцентр України", Приватний інститут прикладної біотехнології daRostim, Німеччина, С. 45–48.

[78] Медведев В. В. (ред.) (1991) *Почвенно-экологические условия возделывания сельскохозяйственных культур*. Київ: Урожай (in Russian)

Серед мікроелементів зерна пшениці озимої особливо важливе значення відводиться: марганцю, залізу, цинку та міді. Марганець характеризується високим показником окисно-відновного потенціалу, бере участь у фотолізі води і відновленні CO_2, сприяючи накопиченню цукрів. Залізо входить до складу ферментів: нітрат- і нітритредуктази, воно важливе для функціонування електротранспортного ланцюга, а також ефективного перетворення іонів NO_3^- в NH_4^+. Мідь відіграє значну роль у фотосинтезі, відновленні та фіксації азоту, метаболізмі протеїнів. Цинк відіграє важливу роль при утворенні фітогормону-ауксину, він впливає на білковий синтез, на синтез амінокислот.

Застосування препаратів терпак або медакс в посівах пшениці озимої сорту Подолянка в умовах Поліської зони забезпечило збільшення елементів структури врожаю, щодо контролю. Вміст кальцію та магнію зріс на 10-24 %, а мікроелементів (Mn, Fe, Zn і Cu) на 11-13 %, щодо контролю.

Використання біопрепаратів сформованих на основі агрономічно корисних мікроорганізмів сприяють підвищенню врожайності та покращенню якості продукції. Так, застосування Азограну, скомпонованого на базі високоактивних штамів азотфіксувальних бактерій: Azotobacter vinelandii та фосфатмобілізувальних – Bacillus subtilis позитивно впливало на кореневе живлення рослин. Крім цього препарат забезпечив прибавку врожаю 0,61-0,62 т/га, та збільшення вмісту сирого протеїну та клейковини на 0,7-1,0 та 1,1-1,3 % [79].

Нові підходи в дослідженнях ефективності біологізованих і екологізованих систем удобрення особливо важливі для пшениці озимої, яка є дуже чутливою до забезпечення мікроелементами, що формує нові уточнення й розширення диференційованих показників для оцінки якості продукції.

Важлива біологічна роль мезо- та мікроелементів та обмеженість даних щодо їх вмісту в основній продукції пшениці

[79] Мірошниченко І. М., Маковейчук Т. І., Михальська Л. М., Швартау В. В. (2017) Зміни елементного складу рослин пшениці озимої за дії Мегафолу та ретардантів. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, vol. 3, no. 8, pp. 403–409. DOI 10.15421/021762

озимої, а також особливості процесу формування врожаю культури та її харчові якості (вміст клейковини та білка) за умов екологізованих систем удобрення стали підставою узагальнення експериментального матеріалу за (2016-2020 рр.).

Дослідження впливу екологізованих систем удобрення на якість врожаю пшениці озимої проводили в стаціонарному досліді по вивченню продуктивності коротко ротаційних сівозмін, закладеному у 2001 р. У досліді передбачено такі варіанти:

1). Контроль (без добрив); 2). Солома гороху; 3). Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$; 4). Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС (біостимулятор); 5). Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$+ БС+ ГД (гумусне добриво); 6). Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + МД (мікробіологічне добриво); 7). Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + ХД (хелатне добриво).

Ґрунт дослідних ділянок – сірий лісовий, поверхнево оглеєний, легкосуглинковий. Агрохімічна характеристика шару ґрунту 0-30 см до закладки досліду слідуюча: $pH_{(KCl)}$ – 4,85; гідролітична кислотність (Hr) – 25,8 мг-екв/кг $^{-1}$ ґрунту, сума увібраних основ (S) -55,23 мг-екв/кг$^{-1}$ ґрунту, вміст легкогідролізованого азоту – 98,0 мг/кг ґрунту$^{-1}$, доступного фосфору і обмінного калію (0,2н HCl) – 108,4 та 87,2 мг/кг ґрунту $^{-1}$ відповідно; рівень загального гумусу – 2,1 %.

Кліматичні умови за роки проведення досліджень 2016-2020 рр. мали свої особливості. Цей період характеризувався перепадами температур та різкими змінами кількості опадів особливо в весняно-літній період. Сума опадів за вегетаційний період знаходилась в межах норми (599-602 мм), окрім 2017-2018 рр., коли вона була вищою на 114 мм. Температурний фон за цей період виявився вище норми на 1,4-1,6 ºС.

Назагал, умови вегетації рослин пшениці озимої були цілком задовільними, дозрівання культур відбувалось в задовільних умовах.

Визначення елементів структури врожаю та дослідження вмісту мікро- та мезоелементів, і клейковини та білка в зерні пшениці озимої здійснювали методами загальноприйнятими в Україні.

Формування врожаю пшениці озимої

Для отримання високих і стабільних урожаїв пшениці озимої важливо формувати відповідну морфоструктуру рослин і структуру посіву, які б ефективно використовували оптимальні умови забезпеченості вологою та елементами живлення, що створюється технологією вирощування.

Оцінювали порівняльну ефективність моделей технологій, а саме вплив екологізованих систем удобрення на формування продуктивності агрофітоценозу пшениці озимої сорту Бенефіс та її урожайність.

Одним з основних елементів високопродуктивних агрофітоценозів є формування оптимальної величини продуктивного стеблестою. Кількість продуктивних стебел пшениці озимої, які збереглись до кінця вегетації за 2016-2020 рр. становило в середньому – 221-358 шт./м^2. Навантаження системи удобрення внесенням гумусного, мікробіологічного чи хелатного добрив на фоні побічної продукції (солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$) + БМ збільшило щільність продуктивного стеблестою до величини 337-358 шт./м^2. Найвищий рівень редукції проявився у варіанті з внесенням хелатного добрива (вар.7) (табл. 1).

За умов приорювання соломи гороху озерненість була на рівні – 21,1 штук зернин. Додавання мінерального добрива (вар.3) збільшувало чисельність зерен в колосі, щодо варіантів 1 та 2 на 13-16%. Інтегроване внесення соломи мінерального добрива і біостимулятора збільшило озерненість колоса до рівня 25,7 шт. Найвища кількість зерен сформувалась за систем удобрення з внесенням гумусного або мікробіологічного чи хелатного добрив (табл.1).

Маса 1000 зерен як елемент структури врожаю, що формується останнім піддавався впливу відповідних систем удобрення. Вона коливалась в межах: 27,3- 34,2 г. Найнижчі показники були відмічені на контрольному варіанті та варіанті внесення побічної продукції (солома гороху). Вказаний показник різною мірою змінювався під впливом елементів технологій.

Таблиця 1.

Вплив екологізованих систем удобрення на продуктивність пшениці озимої (2016-2020 рр)

№ вар	Системи удобрення	Кількість продук-тивних стебел, шт/м^2	Кількість зерна в колосі, шт	Маса 1000 зерен, г	Урожай, т/га
1	Контроль (без добрив)	221	20,5	27,3	2,68
2	Солома гороху	240	21,1	27,8	2,88
3	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$	304	23,9	30,4	3,95
4	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС	328	25,7	31,8	4,17
5	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД	351	28,3	33,6	4,43
6	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС+МД	337	27,5	32,2	4,35
7	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + ХД	358	29,3	34,2	4,47
			НІР $_{0,5}$	0,17	

Внесення гумусного або мікробіологічного добрива позитивно впливало на масу 1000 зерен, що пов’язано з виповненістю і величиною зерна. В цих варіантах показник становив 32,2-33,6 г. Однак найкращим він виявився за умов сумісного внесення ХД на фоні соломи + $N_{30}P_{45}K_{45}$ – 34,2 г.

Вирощування пшениці озимої після гороху без застосування будь-яких добрив забезпечило одержання в середньому за 2016-2020рр 2,68 т/га зерна. При загортанні побічної продукції попередника отримано врожай на рівні 2,88 т/га. За технології з використанням побічної продукції + $N_{30}P_{45}K_{45}$ одержано 3,95 т/га. Використання біологічного стимулятора на фоні соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ виявилось ефективним, забезпечивши зростання врожайності на 0,22 т/га. Використання ГД чи МД або ХД (вар. 5-7) на базі соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ сприяло підвищенню врожаю на 0,18-0,30 т/га, порівняно з варіантом 4. Проблема поліпшення якості зерна пшениці озимої, її хлібопекарських показників, вмісту відповідних мікроелементів водночас із збільшенням зерновиробництва була і залишається актуальною.

Якість зерна пшениці озимої за екологізованих систем удобрення

Аналіз основних показників якості зерна свідчить про наявність значного впливу екологізованих систем удобрення на вміст клейковини, білка та нітратів. При вирощуванні пшениці озимої на ґрунті де не вносили добрив (контроль) вміст клейковини та білка становив 20,3 та 9,0 %, а за умов заорювання соломи гороху – 21,2 та 9,5 % (табл. 2). Внесення мінеральних добрив $N_{30}P_{45}K_{45}$ на фоні післядії побічної продукції позитивно вплинуло на величину зазначених показників, які підвищилось на 1,8 і 1,3 %, щодо вар. 2. Додаткове внесення елементів екологізації (БС, ГД, МД, ХД) на фоні соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ забезпечило одержання зерна з підвищеним вмістом клейковини: на 1,1-3,7 % та білка на 0,4-1,8 % щодо вар. 3.

Таблиця 2.

Біологічні показники якості зерна пшениці озимої за умов екологічно безпечних систем удобрення (2016-2020 рр.).

№ вар.	Системи удобрення	Вміст клейковини, %	Вміст білка, %	Вміст нітратів , мг/кг
1	Контроль (без добрив)	20,3	9,0	50,8
2	Солома гороху	21,2	9,5	51,7
3	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$	23,0	10,8	55,6
4	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС	24,1	11,2	57,1
5	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + ГД	26,7	12,3	58,3
6	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС + МД	25,8	11,8	57,6
7	Солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + ХД	27,3	12,6	59,1

За результатами досліджень зерно пшениці озимої характеризувалось вмістом нітратів в межах: 50,8-59,1 %. Найбільший їх вміст нагромаджувався у варіантах з внесенням гумусного добрива в ґрунт або обробки рослин хелатним добривом: 58,3-58,1 мг/кг відповідно.

Вміст нітратів в зерні пшениці озимої знаходився в межах гранично допустимих норм.

Мікроелементний склад зерна важливий показник його біологічної цінності. Відхилення вмісту мікроелементів від оптимального убік зменшення або збільшення відчувають люди і тварини. У зв'язку з цим особливого значення набуває вивчення наслідків впливу екологізованих систем удобрення на вміст мікроелементів (МЕ) в зерні пшениці озимої.

Щодо вмісту марганцю в зерні пшениці озимої то застосування систем удобрення на фоні соломи + $N_{30}P_{45}K_{45}$ (вар.3-7) забезпечили поглинаючу здатність мікроелементів на рівні 13,8-14,3 проти контролю – 12,3 мг/кг (табл. 3), що свідчить про відсутність суттєвого зростання чи зменшення даного елементу. За умов pH_{KCl} 4,8-5,2, що характерно сірому лісовому ґрунту під дослідом, оптимальне нагромадження марганцю в рослинах пшениці озимої(зерно) відбувається за рахунок наявності елементу в ґрунті в достатній кількості.

Таблиця 3.

Вміст мікроелементів в зерні пшениці озимою за екологічно безпечних систем удобрення, середнє (2018-2020 рр.), мг/кг

№ вар	Cu	Zn	Mn	Fe
1	2,92	9,22	12,3	14,4
2	3,05	10,08	11,7	15,1
3	3,35	11,72	13,8	18,8
4	3,46	11,88	13,5	18,4
5	3,58	11,93	12,1	17,2
6	3,50	11,70	11,8	17,0
7	3,68	12,12	14,3	18,6

Критерієм ефективності застосування екологізованих систем удобрення є вміст в зерні міді та цинку, які беруть активну участь у біосинтезі білка пшениці. Використання систем удобрення з внесенням соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ сприяло підвищенню рівня поглинання цинку, щодо контролю в 1,2 рази вище, а міді, лише в 1,06 рази. Можемо припускати, що адсорбція катіонів міді в більшій мірі ослаблена за рахунок конкуренції з іонами H^{+-} та Al^{3+} в сірому лісовому ґрунті. Вміст заліза за аналогічних умов збільшився

незначно, що пояснюється підкисленням ґрунту та частково вивільненням елементу з соломи гороху. Застосування елементів екологізації: гумусного або мікробіологічного добрива на фоні соломи + $N_{30}P_{45}K_{45}$ зменшило акумуляцію заліза, що може бути обумовлено високим рівнем засвоєння мікроелементу коренями та стеблом пшениці озимої, що генетично обумовлено.

Позакоренева обробка рослин хелатним добривом в найбільшій мірі сприяла акумуляції мікроелементів (Cu, Zn, Mn і Fe) в зерні: 3,50; 12,04; 13,9 та 19,6 мг/кг.

За кількісною характеристикою мікроелементний склад зерна можна представити у вигляді ряду: Fe > Mn > Zn > Cu. Такий розподіл елементів є наслідком неоднакової ліофільності та специфіки їх функціонального призначення. Мікроелементний склад зерна є важливим діагностичним показником, який характеризує не тільки забезпеченість рослин життєво необхідними елементами , а й визначає рівень екологічної чистоти агроценозів. Вміст мікроелементів у зерні пшениці озимої свідчить про задовільний стан агроценозу за умов екологізованих систем удобрення в умовах сірого лісового ґрунту. Кількість життєво необхідних елементів перебуває в межах ГДК (гранично допустимих концентрацій) і не перевищує максимальний допустимий поріг

Внесення екологізованих систем удобрення впливало також на вміст в зерні мезоелементів: Ca^{+2} та Mg^{+2}.

Вміст кальцію в зерні пшениці озимої був в межах 0,05-0,09%. Найнижчим він виявився в контрольному варіанті – 0,05%, а за умов приорювання соломи – 0,06%. Обробка рослин біостимулятором + солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ підвищила рівень кальцію в зерні до 0,08%(вар.4), додавання гумусного чи мікробіологічного, чи хелатного добрива на фоні – солома гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + БС забезпечили підвищення кальцію до величини 0,08-0,09% (рис.1). Вміст магнію виявився вищим майже в два рази ніж кальцію, що генетично обумовлено, однак закономірності нагромадження в зерні магнію за екологізованих систем удобрення були аналогічні акумуляції кальцію. Найвищий рівень нагромадження магнію

відзначено у варіантах з внесенням біостимулятора, що обумовлено наявністю магнію в складі препарату.

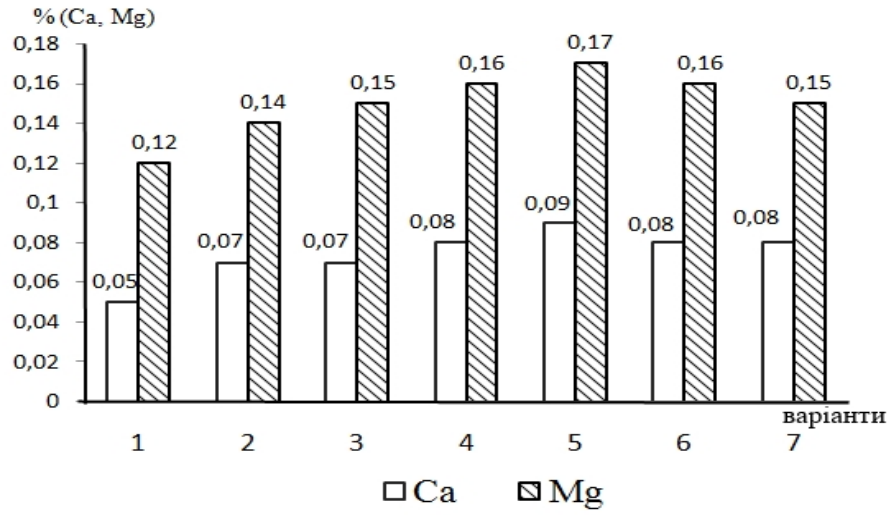


Рис.1. Вміст кальцію та магнію в зерні пшениці озимої за екологізованих систем удобрення.

ВИСНОВКИ:

Застосування екологізованих систем удобрення (2016-2020 рр) позитивно впливало на формування врожаю пшениці озимої та його якісні параметри.

Варіанти технологій з екологізованою системою удобрення на базі соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ з додаванням біостимулятора та гумусного або хелатного добрив – забезпечили відчутне підвищення врожайності пшениці озимої на 1,74-1,79 т/га, щодо контролю та отримання зерна з вмістом клейковини 26,7-27,3 та білка відповідно 12,3-12,6 %.

Вміст мезо- та мікроелементів в зерні пшениці озимої генетично обумовлений і відносно стабільний, однак екологізовані системи удобрення впливали на їх кількісний вміст. Найвищий рівень надходження мікроелементів в зерно відзначено у Fe, далі по низхідній –Mn, Zn і Cu.

Пшениця озима позитивно відреагувала на внесення соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ + біостимулятор і гумусне або мікробіологічне добриво, що обумовило підвищення вмісту кальцію і магнію в зерні пшениці озимої.

РОЗДІЛ 6

ФЕРМЕНТАТИВНА АКТИВНІСТЬ І МЕТАБОЛІЧНА РЕГУЛЯЦІЯ АСИМІЛЯЦІЇ АЗОТУ В ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

Активність нітратредуктази у листках озимої пшениці залежно від умов живлення

Основним джерелом азоту для вищих рослин, в тому числі для озимої пшениці, є нітрати, які перетворюються в органічний азот після відновлення їх до амонію у клітинах рослини за участю нітратредуктази (ЕС 1.6.6.1) і нітритредуктази (ЕС 1.6.6.4). Основну роль у перетворенні нітратів у зернових культурах відіграють листкові пластинки, де відновлюється понад 50% поглинутих нітратів [80], [81], [82], [83], [84], [85]. Показано, що у багатьох випадках продуктивність зернових культур та асиміляція ними азоту позитивно корелює з активністю нітратредуктази листків [86], [87]. Іншими авторами такий зв'язок не встановлений [88], [89]. Поряд з тим рівень активності цього ферменту може бути одним із важливих факторів накопичення

[80] Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва / [Е. Г. Дегодюк, В. Ф. Сайко, М. С. Корнійчук та ін.]. – К. : Урожай, 1992. – 317 с.

[81] Ткачук К. С. Азотний обмін і адаптація рослин до умов живлення / К. С. Ткачук, Т. З. Богдан – К. : АВЕРС, 2000. – 200 с.

[82] Amino acids and nitrate as signals for the regulation of nitrogen acquisition / A. J. Miller, X. Fan, Q. Shen, S. J. Smith // J. Exp. Bot. – 2008. – V. 59, N 1. – P. 111 – 119.

[83] Enzyme activities in nitrogen metabolism of winter wheat and its grain quality under different environmental conditions / C. Zhao, N. Jiao, T. Ning [et al.] // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2006. – V. 17, N 10. – P. 1866 – 1870.

[84] Responses and corresponding physiological mechanisms of different wheat varieties in their nitrogen efficiency and nitrogen uptake to nitrogen supply / S. F. Han, S. W. Li, L. Q. Wu [et al.] // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2007. – V. 18, N 4. – P 807 – 812.

[85] Wheat nitrogen metabolism during grain filling: comparative role of glumes and the flag leaf / M. S. Lopes, N. Cortadellas, T. Kichey [et al.] // Planta. – 2006. – V. 225, N 1. – P. 165 – 181.

[86] Expression of a deregulated tobacco nitrate reductase gene in potato increases biomass production and decreases nitrate concentration in all organs. / S. Djennane, I. Quillere, M. T. Leydecker [et al.] // Planta. – 2004. – V. 219, N 5. – P. 884 – 893.

[87] In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilization to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers / T. Kichey, B. Hirel, E. Heumes [et al.] // Field Crops Res. – 2007. – V. 102, N 1. – P. 22 – 32.

[88] Gallais A. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize / A. Gallais, B. Hirel // J. Exp. Bot. – 2004. – V. 55, N 396. – P. 295 – 306.

[89] Traore A. Nitrate reductase activity of diverse grain sorgum genotypes and its relationship to nitrogen use efficiency / A. Traore, W. Maranville // Agronomy J. – 1999. – V. 91, N 5. – P. 863 – 869.

надлишкових кількостей нітратів і нітритів у рослинних тканинах. У вегетаційних дослідах, а також методом водної культури встановлено, що рівень активності нітратредуктази у листках ряду рослин залежить від вмісту нітратів, амонію та інших елементів живлення у поживному середовищі [90], [91]. Проте системний аналіз реакції нітратредуктазної системи зернових культур, в тому числі озимої пшениці, на стан поживного режиму ґрунту у ході їх вегетації в польових дослідах практично відсутній.

Проведеними дослідженнями встановлено, що активність нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці у різних дослідних варіантах суттєво розрізняється (рис. 1).

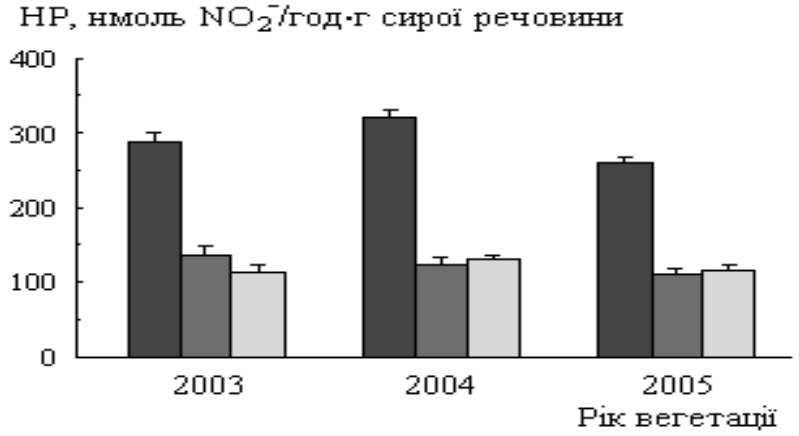


Рис. 1. Активність нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці у фазі трубкування залежно від умов живлення

На осі абсцис – рік весняно-літнього періоду вегетації озимої пшениці.

На осі ординат – активність нітратредуктази (НР, нмоль NO_2^-/год·г сирої речовини). Темні стовпці – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), темно-сірі стовпці – кислий поживний режим ґрунту, з низьким вмістом елементів живлення (pH_{KCl} 4,02), світло-сірі стовпці – сильно кислий поживний режим ґрунту, з достатнім вмістом основних елементів живлення (pH_{KCl} 3,70).

Найбільш високий рівень нітратредуктазної активності листків спостерігається у варіанті 1 зі сприятливими (оптимальними) умовами ґрунтового живлення. Так, активність нітратредуктази у фазі

[90] Ткачук К. С. Поглинання і акумуляція азоту в органах рослин за різних умов фосфорного живлення / К. С. Ткачук, С. М. Ковальчук // Физиология и биохимия культ. растений. – 1998. – Т. 30, № 5. – С. 358 – 362.

[91] Coruzzi G. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants / G. Coruzzi, D. K. Bush // Plant Physiol. – 2001. – V. 125, N 1. – P. 61 – 64.

трубкування озимої пшениці становила у 2003 р. у цьому варіанті 288,88 ± 12,06 нмоль NO_2^-/год·г сирої речовини, а у варіантах 2 і 3, які характеризуються несприятливими умовами ґрунтового живлення – 135,03 ± 11,98 і 113,34 ± 8,45 нмоль NO_2^-/год·г сирої речовини, відповідно. Це складає відповідно 46,7 і 39,2 % від рівня активності цього ферменту у листках пшениці у варіанті 1. Подібне співвідношення активності нітратредуктази у листках озимої пшениці у досліджуваних варіантах спостерігалось також у 2004 – 2005 роках.

Значні відмінності виявлені також у динаміці активності нітратредуктази у листках озимої пшениці у ході вегетації в трьох дослідних варіантах (рис. 2).

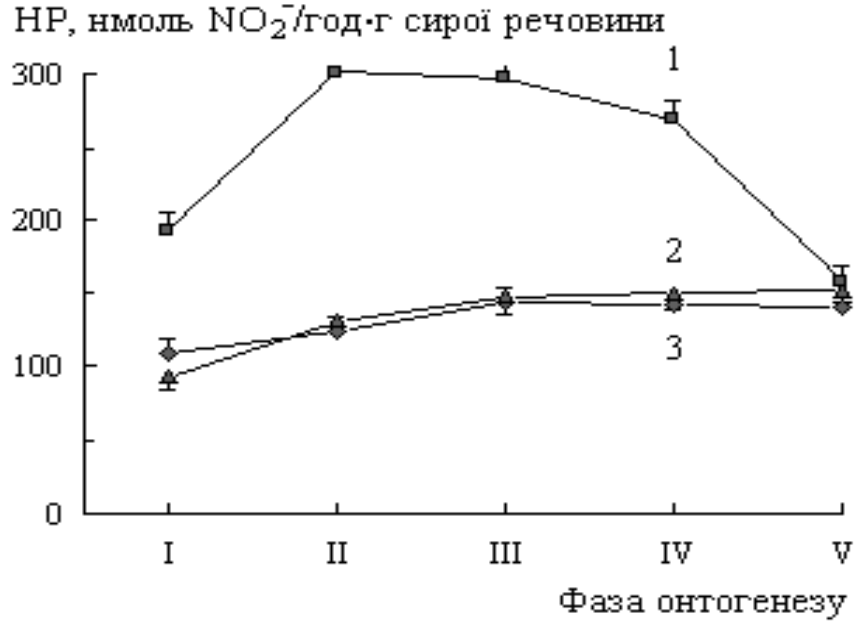


Рис. 2. Активність нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов живлення (2004 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуваннння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – активність нітратредуктази (НР, нмоль NO_2^-/год·г сирої речовини). 1 – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), 2 – кислий поживний режим ґрунту, з низьким вмістом елементів живлення (pH_{KCl} 4,02), 3 – сильно кислий поживний режим ґрунту, з достатнім вмістом основних елементів живлення (pH_{KCl} 3,70).

Так, у варіанті 1 ця залежність описується параболічною кривою з максимумом у фазах трубкування і колосіння, що досягає 155,32 – 153,32 % від рівня активності ферменту у фазі кущіння. Цей максимум співпадає з періодом найбільш інтенсивного росту і збільшення вегетативної маси рослин. Подібну залежність було отримано й іншими авторами.

Разом з тим, у варіантах 2 і 3, з несприятливими умовами живлення, активність нітратредуктази листків в онтогенезі пшениці збільшується у значно меншій мірі. Збільшення активності ферменту у цьому випадку має вигляд слабо вираженої гіперболічної залежності. Вона досягає максимальних значень у фазах цвітіння і молочної стиглості, які становлять 130,61-162,48 % від рівня активності ферменту у фазі кущіння пшениці у цих варіантах.

Відомо [92], [93], [94], [95], [96], що нітратредуктаза є складно регульованим ферментом, синтез і активність якого залежить від ряду факторів, зокрема від вмісту нітратів і амонію в клітині, рівня освітленості та інших умов. У зв'язку з цим значний інтерес становило співставлення активності нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі з вмістом у них нітратів, амонію, сумарним вмістом хлорофілу.

Встановлено, що за вмістом нітратів у листках озимої пшениці варіанти 1 і 2 відрізняються не значно. Так, у фазі кущіння вміст їх у листках пшениці у цих варіантах становить 4,227 ± 0,175 та 3,759 ± 0,127 мг/100 г сирої речовини. В процесі весняно-літнього періоду вегетації пшениці у цих варіантах спостерігається деяке збільшення вмісту нітратів у листках, величина якого у фазі молочної стиглості досягає 208,28 – 261,42 % відносно вмісту цих речовин у листках

[92] Campbell W. H. Nitrate reductase biochemistry comes of age / W. H. Campbell // Plant Physiol. – 1996. – V. 111, N 2. – P. 355 – 361.

[93] Cookson S. J. Light-dark changes in cytosolic nitrate pools depend on nitrate reductase activity in Arabidopsis leaf cells / S. J. Cookson, L. E. Williams, A. J. Miller // Plant Physiol. – 2005. – V. 138, N 2. – P. 1097 – 1105.

[94] Coruzzi G. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants / G. Coruzzi, D. K. Bush // Plant Physiol. – 2001. – V. 125, N 1. – P. 61 – 64.

[95] Glutamine and alpha-ketoglutarate are metabolite signals involved in nitrate reductase gene transcription in untransformed and transformed tobacco plants deficient in ferredoxin-glutamine – alpha-ketoglutarate aminotransferase / S. Ferrario-Méry, C. Masclaux, A. Suzuki [et al.] // Planta. – 2001. – V. 213, N2. – P. 265 – 271.

[96] Impact of atmospheric CO_2 on growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in cucumber (Cucumis sativus L.) plants / E. Agüera, D. Ruano, P. Cabello, P. de la Haba // J. Plant. Physiol. – 2006. – V. 163, N 8. – P. 809 – 817.

рослин у фазі кущіння (рис. 3). Вміст нітратів у листках озимої пшениці у варіанті 3 виявився значно вищим. У фазах кущіння і трубкування його величина становила 22,18 ± 0,37 – 22,01 ± 0,41 мг/100 г сирої речовини, що на 400 – 300 % більше ніж у варіантах 1 і 2.

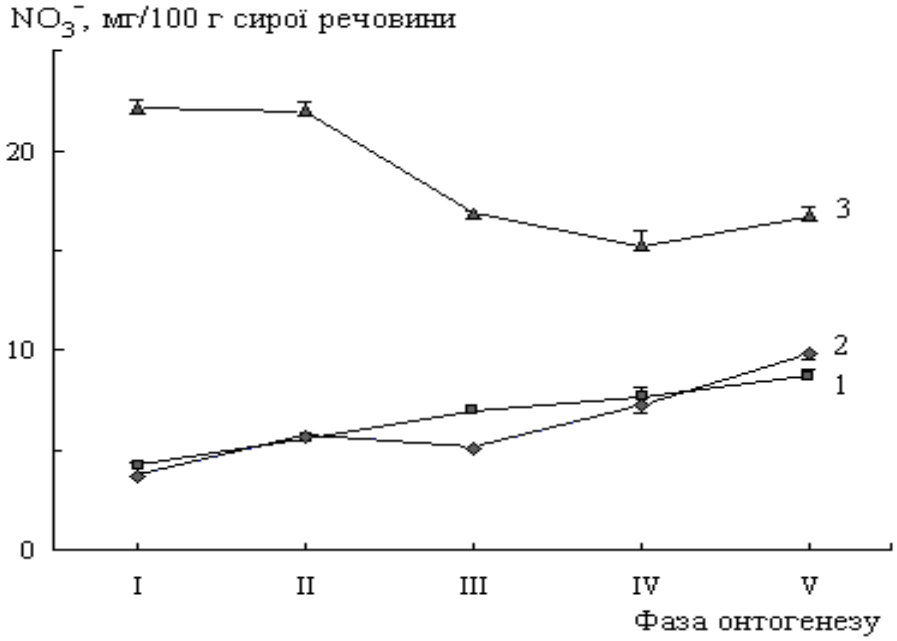


Рис. 3. Вміст нітратів у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов живлення (2004 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуванння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – вміст нітратів (NO_3^-, мг/100 г сирої речовини). Характеристику варіантів 1, 2, 3 див. рис. 2.

У наступні періоди вегетації вміст нітратів у листках рослин у цьому варіанті помірно зменшувався і досягав у фазах цвітіння і молочної стиглості відповідно 15,23 ± 0,71 і 16,71 ± 0,53 мг/100 г сирої речовини.

Вміст амонію в листках озимої пшениці не суттєво відрізняється між варіантами досліду (рис. 4). У фазі кущіння вміст його у листках пшениці у варіантах 1, 2 і 3 складав відповідно 9,57 ± 0,31, 7,82 ± 0,31 і 8,40 ± 0,40 мг/100 г сирої речовини. В ході вегетації вміст амонію у листках рослин поступово знижувався, досягаючи у фазі молочної стиглості 17,03 – 23,91 % від його рівня у фазі кущіння.

Сумарний вміст хлорофілу у листках озимої пшениці на ранніх етапах онтогенезу (кущіння, трубкування) також не суттєво відрізнявся між дослідними варіантами і знаходився в межах 2,08 – 2,68 мг/г сирої речовини (табл. 1).

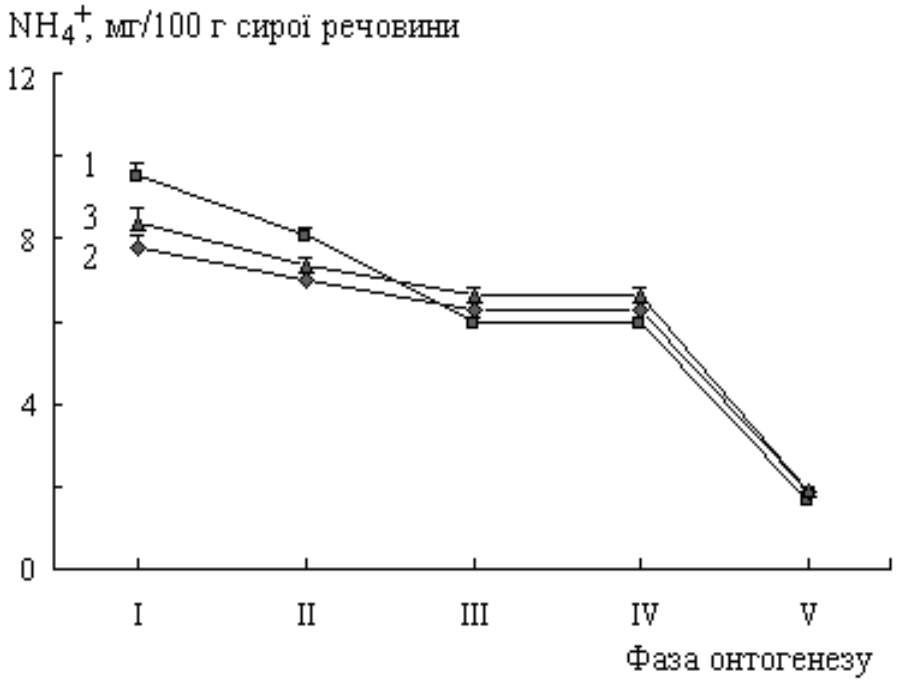


Рис. 4. Вміст амонію у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов живлення (2004 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуванння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – вміст амонію (NH_4^+, мг/100 г сирої речовини). Характеристику варіантів 1, 2, 3 див. рис. 2.

Починаючи з фази колосіння спостерігалося поступове зменшення сумарного вмісту хлорофілу у листках рослин у всіх дослідних варіантах. Проте у варіантах з несприятливими умовами ґрунтового живлення (варіанти 2, 3) зниження цього параметру в онтогенезі озимої пшениці відбувалось значно швидше. У зв'язку з цим у фазі молочної стиглості сумарний вміст хлорофілу у листках пшениці у варіанті 1 складав 1,2 мг/г сирої речовини, а у варіантах 2 і 3 – 0,82-0,86 мг/г сирої речовини, тобто 67,77-71,07 % від його рівня у варіанті 1 з оптимальними умовами ґрунтового живлення.

Таблиця 1

Сумарний вміст хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов ґрунтового живлення (2004 р., M ± m, n = 6)

Фаза онтогенезу	Сумарний вміст хлорофілу, мг/г сирої речовини		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Кущіння	2,60 ± 0,12	2,08 ± 0,07*	2,50 ± 0,10
Трубкування	2,68 ± 0,10	2,34 ± 0,06*	2,62 ± 0,07
Колосіння	2,53 ± 0,10	1,73 ± 0,07*	1,89 ± 0,07*
Цвітіння	2,51 ± 0,09	1,72 ± 0,07*	1,87 ± 0,07*
Молочна стиглість	1,21 ± 0,07	0,82 ± 0,06*	0,86 ± 0,07*

Примітка: 1 – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), 2 – кислий поживний режим ґрунту, з низьким вмістом елементів живлення (pH_{KCl} 4,02), 3 – сильно кислий поживний режим ґрунту, з достатнім вмістом основних елементів живлення (pH_{KCl} 3,70). * – достовірність різниці відносно варіанту 1, $P < 0,05$.

Співставлення динаміки нітратредуктазної активності у верхніх листках озимої пшениці в ході вегетації з вмістом у них нітратів, амонію та сумарним вмістом хлорофілу проводили методами кореляційного аналізу (табл. 2). З'ясовано, що у варіанті 1, з оптимальними умовами ґрунтового живлення, параболічна динаміка нітратредуктазної активності листків в онтогенезі озимої пшениці не суттєво залежить від динаміки вмісту у них нітратів і амонію ($r = -0,06 – -0,51$, $P > 0,05$). Разом з тим, динаміка активності цього ферменту в онтогенезі рослин пшениці характеризується позитивним кореляційним зв'язком із сумарним вмістом у листках хлорофілу ($r = +0,70$, $P < 0,1$). Найбільш вірогідно, що за оптимальних умов ґрунтового живлення, зокрема азотного живлення рослин, саме фотосинтетичні процеси можуть виступати основним чинником, який визначає активність нітратредуктази та засвоєння азоту рослинами. На користь тісного зв'язку між відновленням нітратів і фотосинтезом свідчать також дані про стимулюючий вплив освітлення на процес відновлення нітратів до нітритів [97], [98], [99] та факт фотосинтетичного

[97] Lillo C. The nitrate reductase circadian system. The central clock dogma contra multiple oscillatory feedback loops / C. Lillo, C. Meyer, P. Ruoff // Plant Physiol. – 2001. – V. 125, N 4. – P. 1554 – 1557.

[98] Raghuram N. Light regulation of nitrate reductase gene expression in maize involves a G-protein / N. Raghuram, M. R. Chandok, S. K. Sopory // Mol. Cell. Biol. Res. Commun. – 1999. – V. 2, N 2. – P. 86 – 90.

відновлення нітритів до аміаку за участю фередоксин-залежної нітритредуктази хлоропластів [100], [101].

Таблиця 2

Кореляційна залежність активності нітратредуктази від вмісту нітратів, амонію і сумарного вмісту хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці

Варіант досліду	Коефіцієнт кореляції, r		
	NO_3^- мг/100 г сирої речовини	NH_4^+ мг/100 г сирої речовини	Хлорофіл мг/г сирої речовини
Варіант 1	- 0,06, P > 0,05	-0,51, P > 0,05	+0,70, P < 0,1
Варіант 2	+0,70, P < 0,1	-0,87, P < 0,01	+0,15, P > 0,05
Варіант 3	- 0,75, P < 0,05	-0,90, P < 0,001	-0,03, P > 0,05

Примітка: Характеристику варіантів див. табл. 3.1. P – достовірність коефіцієнта кореляції.

У варіантах з несприятливими умовами ґрунтового живлення (варіант 2 і 3) динаміка активності нітратредуктази в онтогенезі озимої пшениці навпаки не суттєво залежить від сумарного вмісту хлорофілу у листках (r= +0,15 – -0,03) і тісно корелює з рівнем нітратів і амонію у листках рослини (табл. 2). При цьому у варіанті 2, з низьким вмістом нітратів у ґрунті (0,26 мг/100 г) і в листках рослини (3,76-9,83 мг/100 г), між вмістом нітратів і активністю нітратредуктази в листках в онтогенезі озимої пшениці спостерігається позитивна кореляція (r = +0,70, P < 0,1). У варіанті 3, з високим вмістом нітратів у ґрунті (0,80 мг/100 г) і в листках (22,18-16,71 мг/100 г), кореляція між цими параметрами має негативну спрямованість (r = -0,75, P < 0,05). Обидва варіанти характеризуються також негативною кореляцією між активністю фермента і вмістом у листках амонію (r = -0,87 – -0,90, P < 0,01).

[99] Regulation of nitrate reductase activity by nitrate during light-dark transition in detached oat leaves / M. Rouby, F. Ponce-Villacís, A. Córdoba, J. Kenis // Plant Cell Physiol. – 1995. – V. 36, N 7. – P. 1399 - 1403.

[100] Altered photosynthetic electron channelling into cyclic electron flow and nitrite assimilation in a mutant of ferredoxine : NADP(H) reductase. / G. T. Hanke, T. Endo, F. Satoh, T. Hase // Plant Cell. Environ. – 2008. – V. 31, N 7. – P. 1017 – 1028.

[101] Nitrogen-assimilating enzymes in land plants and algae: phylogenic and physiological perspectives / R. Inokuchi, K. I. Kuma, T. Miyata, M. Okada // Physiol. Plant. – 2002 – V. 116, N 1. – P. 1 – 11.

Таким чином, активність нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі характеризується закономірними змінами, характер яких у значній мірі залежить від умов ґрунтового живлення рослин. На ґрунтах зі сприятливими умовами живлення ці зміни описуються параболічною залежністю з максимумом у фазах трубкування і колосіння, що співпадає з періодами найбільш інтенсивного росту і збільшення вегетативної маси рослини. Ці зміни не суттєво залежать від вмісту нітратів і амонію в листках рослини і позитивно корелюють із сумарним вмістом у них хлорофілу. На ґрунтах з несприятливими умовами живлення (кислі ґрунти (pH_{KCl} 4,02) з низьким вмістом основних елементів живлення або сильно кислі ґрунти (pH_{KCl} 3,70) з достатньо високим вмістом основних елементів живлення) параболічна динаміка активності нітратредуктази листків в онтогенезі пшениці практично повністю нівелюється і набуває вигляду слабо вираженої гіперболічної залежності з порівняно невеликим збільшенням активності нітратредуктази в ході вегетації рослин. За таких умов динаміка активності нітратредуктази у листках озимої пшениці в онтогенезі не суттєво залежить від сумарного вмісту в них хлорофілу, але тісно корелює з вмістом у листках нітратів і амонію. Результати цих досліджень опубліковано у науковій праці [102].

Активність глутамін- і аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці залежно від умов живлення

У первинній асиміляції амонійного азоту в амінокислоти і білки рослинної клітини центральне місце належить ферментам глутаматсинтазного циклу, ключове положення серед яких займають глутамінсинтетази (ЕС 6.3.1.2) [103], [104], [105]. Поряд із тим, у органах

[102] Дубицький О. Л. Зміна активності нітратредуктази в листках озимої пшениці залежно від поживного режиму ґрунту / О. Л. Дубицький, Г.Й. Сеньків, К. С. Ткачук // Фізіол. і біохім. культ. рослин. – 2006. – Т. 38, № 4. – С. 331 – 338.

[103] Glutamine synthetase – glutamate synthase pathway and glutamate dehydrogenase play distinct roles in the sink–source nitrogen cycle in tobacco / C. Masclaux–Daubresse, M. Reisdorf–Cren, K. Pageau [et al.] // Plant Physiol. – 2006. – V. 140, N 2. – P. 444 – 456.

[104] Implication of the glutamine synthetase/glutamate synthase pathway in conditioning the amino acid metabolism in bundle sheath and mesophyll cells of maize leaves / M. H. Valadier, A. Yoshida, O. Grandjean [et al.] // FEBS J. – 2008. – V. 275, N 12. – P. 3193 – 3206.

[105] Miflin B. J. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops / Miflin B. J., Habash D. Z. // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53, N 370. – P. 979 – 987.

рослин виявлено аспарагінсинтетази (ЕС 6.3.1.1) [106], [107], [108], [109]. Отримано вагомі докази [110], [111], що аміди дикарбонових амінокислот (глутамін, аспарагін), які утворюються за участю цих ферментів є основною формою первинної акумуляції і транспортування органічного азоту в рослинному організмі.

У модельних дослідах на паростках різушки Таля отримано дані, які свідчать, що активність глутамінсинтетази і аспарагінсинтетази в клітинах рослин може реципрокно змінюватись залежно від рівня освітленості та вмісту вуглецевих метаболітів [112], [113], [114], [115]. Проте адаптивні реакції цих ферментів на зміни умов ґрунтового живлення в тканинах рослин за природних умов практично не вивчались. Враховуючи тісний взаємозв'язок азотного метаболізму рослин з їхньою продуктивністю, особливий інтерес у цьому плані становлять культурні рослини, зокрема злакові. У зв'язку з цим у даній роботі досліджували динаміку активності глутамінсинтетаз і аспарагінсинтетаз в листках озимої пшениці в ході вегетації на ґрунті з різними умовами живлення.

Аналіз активності ферментів асиміляції амонійного азоту в листках озимої пшениці засвідчив, що активність глутамінсинтетаз у верхніх листках рослин всіх дослідних варіантів є значно вищою порівняно із активністю аспарагінсинтетаз. Особливо виражені ці

---

[106] Azevedo R.A. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants / R. A. Azevedo, M. Lancien, P. J. Lea // Amino Acids. – 2006. – V. 30, N 2. – P. 143 – 162.

[107] Correlation of ASN2 gene expression with ammonium metabolism in Arabidopsis / H. – K. Wong, H. – K. Chan, G. M. Coruzzi, H. – M. Lam // Plant Physiol. – 2004. – V. 134, N 1. – P. 332 – 338.

[108] Metabolite and light regulation of metabolism in plants: lessons from the study of a single biochemical pathway / I. C. Oliveira, E. Brenner, J. Chiu [et al.] // Braz. J. Med. Biol. Res. – 2001. – V. 34, N 5. – P. 567 – 575.

[109] Xu Z. Research advance in nitrogen metabolism of plant and its environmental regulation / Z. Xu, G. Zhou // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2004. – V. 15, N 3. – P. 511 – 516.

[110] Free amino acids in botanicals and botanical preparations / B. Carratù, C. Boniglia, S. Giammarioli [et al.] // J. Food Sci. – 2008. – V. 73, N 5. –P. 323 – 328.

[111] Lehmann T. The pivotal role of glutamate dehydrogenase (GDH) in the mobilization of N and C from storage material to asparagine in germinating seeds of yellow lupine / T. Lehmann, L. Ratajczak // J Plant Physiol. – 2008. – V. 165, N 2. – P. 149 – 158.

[112] Ikeda A. Regulation of carbon source partitioning in plants: all about regulation in response to internal ratio of C and N / A. Ikeda, Y. Sonoda, J. Yamaguchi // Tanpakushitsu Kakusan Koso. – 2003. – V. 48, N 15 (Suppl). – P. 2103 – 2112.

[113] Lam H.–M. Metabolic regulation of the gene encoding glutamine-dependent asparagine synthetase in Arabidopsis thaliana / H.–M. Lam, S. S.–Y. Peng, G. M. Coruzzi // Plant Physiol. – 1994. – V. 106, N 4. – P. 1347 – 1357.

[114] Light- and carbon-signaling pathways. Modeling circuits of interactions / K. E. Thum, D. E. Shasha, L. V. Lejay, G. M. Coruzzi // Plant Physiol. – 2003. –V. 132, N 2. – P. 440 – 452.

[115] The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants / H.–M. Lam, K. T. Coschigano, I. C. Oliveira [et al.] // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1996. – V. 47, N 1. – P. 569 – 593.

відмінності у періоди інтенсивного росту і розвитку рослин (фази трубкування – цвітіння) (рис. 5, табл. 3). Разом із тим, співвідношення активності досліджуваних ферментів у листках рослин суттєво залежить від умов ґрунтового живлення. Із даних, наведених у табл. 3, видно, що за оптимальних умов ґрунтового живлення (варіант 1) активність аспарагінсинтетаз у листках рослин у фазі трубкування складала 0,099 від рівня активності в них глутамінсинтетаз.

За несприятливих умов ґрунтового живлення (варіанти 2 і 3) в листках пшениці спостерігалось 2–3-кратне зниження активності глутамінсинтетаз, що супроводжувалось 2–3-кратним збільшенням у них активності аспарагінсинтетаз. Завдяки цьому активність аспарагінсинтетаз листків рослин цих варіантів у період трубкування досягала 0,37-0,74 від рівня активності глутамінсинтетаз. Подібні співвідношення активності досліджуваних ферментів спостерігались у фазі колосіння та цвітіння і були дещо менші у період кущіння та молочної стиглості.

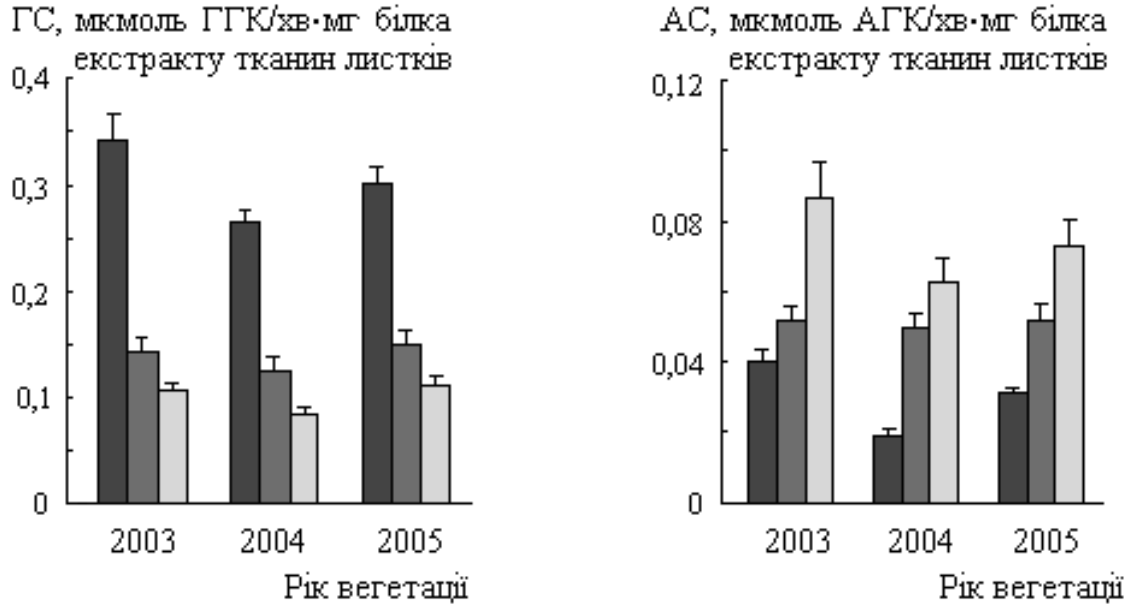


Рис. 5. Активність глутамін- і аспарагінсинтетаз у верхніх листках озимої пшениці у фазі трубкування за різних умов живлення (2003 – 2005 рр.)

На осі ординат – активність глутамінсинтетаз (ГС) і аспарагінсинтетаз (АС), мкмоль ГГК (γ-глутамілгідроксамату) або АГК (β-аспартилгідроксамату) за хв на мг білка екстракту тканин листків. Темні стовпці – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), темно-сірі стовпці – поживний режим ґрунту з низьким вмістом елементів живлення та кислою реакцією ґрунтового

розчину (pH_{KCl} 4,02), світло-сірі стовпці – поживний режим ґрунту з достатнім вмістом основних елементів живлення та сильно кислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 3,70).

Таким чином, встановлено, що зміни у співвідношенні активності досліджуваних ферментів у верхніх листках пшениці залежно від умов живлення і, відповідно, від рівня їхньої біологічної продуктивності, мають чітко виражений реципрокний характер. Зменшення активності глутамінсинтетаз у листках пшениці за несприятливих умов живлення і низької продуктивності супроводжується збільшенням у них активності аспарагінсинтетаз.

Таблиця 3

Співвідношення активності глутамін- і аспарагінсинтетаз верхніх листків озимої пшениці у фазі трубкування у варіантах із різними умовами живлення (M ± m, n = 18)

Варіант	Глутамінсинтетази (ГС), мкмоль γ-ГГК /хв·мг білка	Аспарагінсинтетази (АС), мкмоль β-АГК /хв·мг білка	ГС/АС
1	0,303 ± 0,013	0,030 ± 0,002	0,099
2	0,138 ± 0,008	0,051 ± 0,002	0,370
3	0,100 ± 0,005	0,074 ± 0,005	0,740

Примітка: 1 – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), 2 – поживний режим ґрунту з низьким вмістом елементів живлення та кислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 4,02), 3 – поживний режим ґрунту з достатнім вмістом основних елементів живлення та сильно кислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 3,70). γ-ГГК – γ-глутамілгідроксамат, β-АГК – β-аспартилгідроксамат.

Дані, що наведені на рис. 6, свідчать, що за оптимальних умов ґрунтового живлення (варіант 1) реципрокні співвідношення активності глутамінсинтетаз і аспарагінсинтетаз у листках пшениці простежуються протягом вегетації рослин. Так, найбільш значне зростання активності глутамінсинтетаз в ході вегетації рослин у фазі трубкування супроводжується одночасним зниженням активності аспарагінсинтетаз. Повільне ж зменшення активності глутамінсинтетаз на кінцевих етапах вегетації рослин, навпаки, супроводжується збільшенням активності аспарагінсинтетаз. У цілому, залежність між активністю досліджуваних ферментів верхніх листків у ході вегетації рослин у варіанті з оптимальними умовами

живлення характеризується негативним кореляційним зв'язком (r= -072, P< 0,1) (табл. 4).

За несприятливих умов ґрунтового живлення (варіанти 2 і 3) у верхніх листках озимої пшениці в ході вегетації спостерігається односпрямоване збільшення активності глутамін- і аспарагінсинтетаз (r = +0,85 – +0,96, P < 0,05) (рис. 7, табл. 4). Але приріст активності аспарагінсинтетаз листків у ході вегетації рослин цих варіантів виявився значно більшим, ніж приріст активності глутамінсинтетаз.

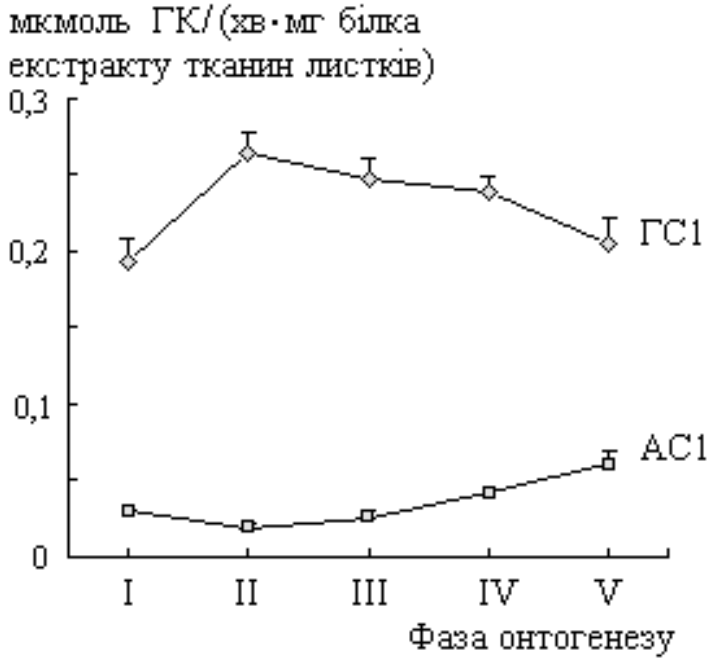


Рис. 6. Динаміка активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі за оптимальних умов живлення (2005 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуваннння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – активність глутамін- і аспарагінсинтетаз листків рослин, мкмоль ГК (γ-глутаміл- або β-аспартилгідроксамату)/хв·мг білка екстракту тканин листків. ГС – глутамінсинтетази, АС – аспарагінсинтетази. Оптимальний режим живлення, pH_{KCl} ґрунтового розчину 5,36 (варіант 1).

Так, приріст активності глутамінсинтетаз в листках пшениці на кінець вегетації рослин (фази цвітіння – молочної стиглості) складав 20-30 %, а активності аспарагінсинтетаз – 70-80 % відносно рівня активності цих ферментів у фазі кущіння.

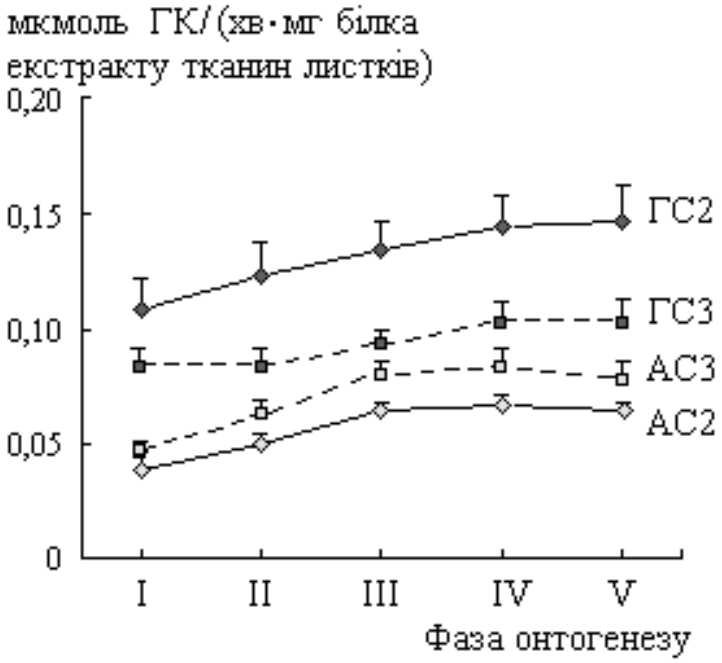


Рис. 7. Динаміка активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі за несприятливих умов живлення (2005 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

Суцільна лінія – низький вміст елементів живлення та кисла реакція ґрунтового розчину (pH_{KCl} 4,02) (варіант 2), пунктирна лінія – достатній вміст основних елементів живлення та сильно кисла реакція ґрунтового розчину (pH_{KCl} 3,70) (варіант 3). Інші позначення див. рис. 6.

Отже за несприятливих умов живлення та вегетації озимої пшениці, реципрокні співвідношення активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у верхніх листках в ході вегетації практично повністю нівелюються. За цих умов у листках озимої пшениці в ході вегетації спостерігається збільшення активності обох ферментів із переважаючим приростом активності аспарагінсинтетаз. Очевидно, що характер динаміки активності глутамінсинтетаз та аспарагінсинтетаз у варіантах з різним режимом ґрунтового живлення є проявом метаболічної адаптації рослин до умов живлення і вегетації рослин. Механізми такої адаптації на сьогодні не зовсім ясні. За даними ряду авторів синтез і активність цих ферментів може модулюватись солями амонію [116], [117], [118], [119], амідами амінокислот [120],

[116] Exogenous ammonium inhibits petal pigmentation and expansion in Gerbera hybrida / Z. Huang, M. Liang, J. Peng [et al.]// Physiol. Plant. – 2008. – V. 133, N 2. – P. 254 – 265.

[121], [122], рівнем освітленості [123], [124], [125], [126], деякими вуглецевими метаболітами [127], [128], [129], [130].

Таблиця 4

Кореляційна залежність між активністю глутамін- і аспарагінсинтетаз у верхніх листках озимої пшениці

Коефіцієнт кореляції, r		
Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
-0,72 P < 0,1	+0,96 P< 0,01	+0,85 P < 0,05

Примітка: Характеристику варіантів див. табл. 3.3. P – достовірність коефіцієнта кореляції.

У зв'язку з цим у даній роботі ми проаналізували залежність активності досліджуваних ферментів у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі від вмісту у них іонів амонію, амінного азоту, а

---

[117] Expression of asparagine synthetase in rice (Oryza sativa) roots in response to nitrogen. / T. Kawachi, K. Sueyoshi, A. Nakajima [et al.] // Physiol. Plant. – 2002. – V. 114, N 1. – P. 41 – 46.

[118] How does glutamine synthetase activity determine plant tolerance to ammonium? / C. Cruz, A. F. Bio, M. D. Domínguez-Valdivia [et al.] // Planta. – 2006. – V. 223, N 5. – P. 1068 – 1080.

[119] Kinetic properties and ammonium-dependent regulation of cytosolic isoenzymes of glutamine synthetase in Arabidopsis / K. Ishiyama, E. Inoue, A. Watanabe-Takahashi [et al.] // J. Biol. Chem. – 2004. – V. 279, N 16. – P. 16598 – 16605.

[120] Ammonium assimilation and amino acid metabolism in conifers / F. M. Cánovas, C. Avila, F. R. Cantón [et al.]. // J. Exp. Bot. – 2007. – V. 58, N 9. – P. 2307 – 2318.

[121] Exogenous supply of glutamine and active cytokinin to the roots reduces NO_3^- uptake rates in poplar / P. Dluzniewska, A. Gessler, S. Kopriva [et al.] // Plant. Cell. Environ. – 2006. – V. 29, N 7. – P. 1284 – 1297.

[122] Lam H. M. Reciprocal regulation of distinct asparagine synthetase genes by light and metabolites in Arabidopsis thaliana / H. M. Lam, M.–H. Hsieh, G. Coruzzi // Plant J. – 1998. – V. 16, N 3. – P. 345 – 353.

[123] Herrera-Rodríguez M. B. Light and metabolic regulation of HAS1, HAS1.1 and HAS2, three asparagine synthetase genes in Helianthus annuus / M. B. Herrera-Rodríguez, J. M. Maldonado, R. Pérez-Vicente // Plant Physiol. Biochem. – 2004. – V. 42, N 6. – P. 511 – 518.

[124] The promoter of a cytosolic glutamine synthetase gene from the conifer Pinus sylvestris is active in cotyledons of germinating seeds and light-regulated in transgenic Arabidopsis thaliana / C. Avila, F. R. Canton, P. Barnestein [et al.] // Physiol. Plant – 2001. – V. 112, N 3. – P. 388 – 396.

[125] Tingey S. V. Glutamine synthetase of Nicotiana plumbaginifolia. Cloning and in vivo expression / S. V. Tingey, G. M. Coruzzi // Plant Physiol. – 1987. – V. 84, N 2. – P. 366 – 379.

[126] Tsai F. – Y. Light repress the transcription of asparagine synthetase genes in photosynthetic and non-photosynthetic organs of plants / F.–Y. Tsai, G. M. Coruzzi // Mol. Cell Biol. – 1991. – V. 11, N 10. – P. 4966 – 4972.

[127] Evidence for sugar signalling in the regulation of asparagine synthetase gene expressed in *Phaseolus vulgaris* roots and nodules / S. Silvente, P. M. Reddy, S. Khandual [et al.] // J. Exp. Bot. – 2008. – V. 59, N 6. – P. 1279 – 1294.

[128] Masclaux-Daubresse C. The two nitrogen mobilisation- and senescence-associated GS1 and GDH genes are controlled by C and N metabolites / C. Masclaux-Daubresse, E. Carrayol, M. H. Valadier // Planta. – 2005. – V. 221, N 4. – P. 580 – 588.

[129] Oliveira I. C. Carbon and amino acids reciprocally modulate the expression of glutamine synthetase in Arabidopsis / I. C. Oliveira, G. M. Coruzzi // Plant Physiol. – 1999. – V. 121, N 1. – P. 301 – 309.

[130] Physiological, biochemical and molecular analysis of sugar-starvation responses in tomato roots / C. Devaux, P. Baldet, J. Joubes [et al.] // J. Exp. Bot. – 2003. – V. 54, N 385. – P. 1143 – 1151.

також глутамату, аспартату та їх амідів (глутамін, аспарагін). Встановлено, що вміст амонію в листках озимої пшениці не суттєво відрізняється у варіантах досліду з різними режимами живлення, і в ході онтогенезу рослин поступово зменшується, особливо на кінцевих етапах вегетації рослин (рис. 8). Разом з тим, вміст амінного азоту у листках озимої пшениці суттєво збільшується, досягаючи максимальних значень у фазах колосіння і цвітіння. При цьому залежність активності глутамінсинтетаз і аспарагінсинтетаз листків від вмісту в них амонію в онтогенезі озимої пшениці у дослідних варіантах характеризується переважно від'ємними корелятивними зв'язками (табл. 5). Це свідчить, що іони амонію навряд чи можуть бути задіяні в процесах індукції синтезу або активації цих ферментів в онтогенезі рослин озимої пшениці. Потенційно вони можуть функціонувати лише як негативні регулятори рівня активності цих ферментів. Більш вагомим фактором у цьому відношенні, як свідчать результати наших досліджень (див. рис. 7, табл. 5), є динаміка вмісту амінного азоту у листках рослин в онтогенезі.

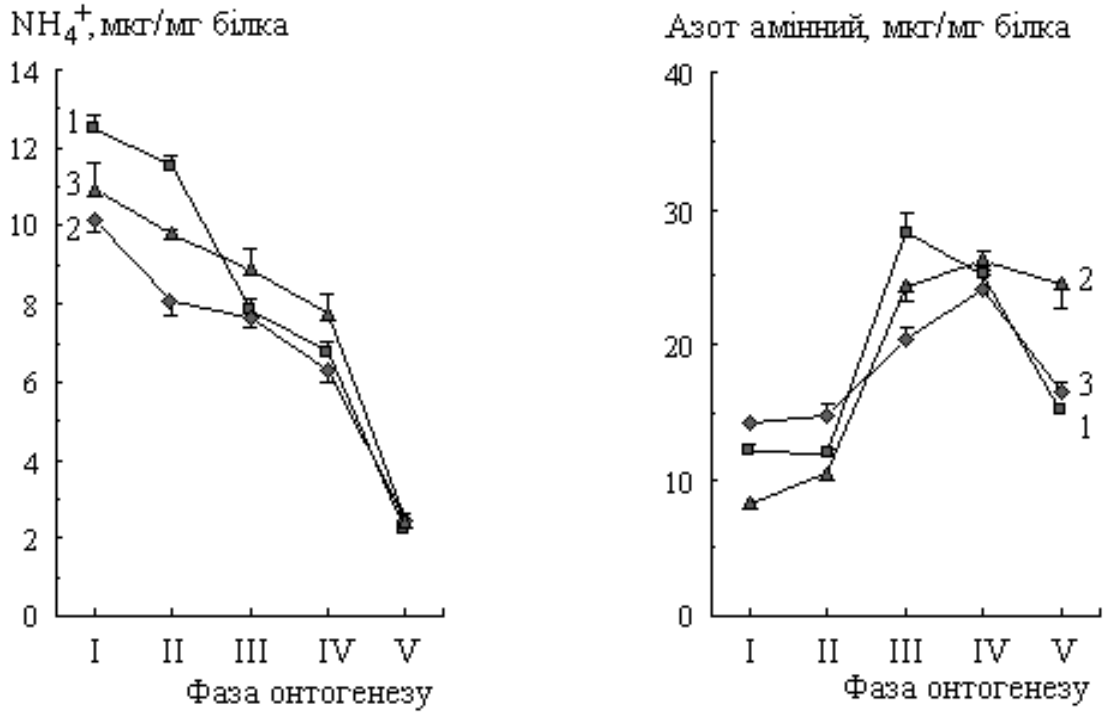


Рис. 8. Вміст амонію і амінного азоту у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі у варіантах з різними умовами живлення (2005 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуванння,

III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – вміст амонію та амінного азоту, мкг/мг білка. 1 – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), 2 – кислий поживний режим ґрунту, з низьким вмістом елементів живлення (pH_{KCl} 4,02), 3 – сильно кислий поживний режим ґрунту, з достатнім вмістом основних елементів живлення (pH_{KCl} 3,70).

У цьому випадку між активністю глутамінсинтетаз і аспарагінсинтетаз та вмістом амінного азоту у листках озимої пшениці у ході вегетації спостерігаються позитивні кореляційні зв'язки, особливо чітко виражені для аспарагінсинтетаз у варіантах з несприятливим режимом живлення. Як відомо [131], [132], основну частину амінного азоту листків рослин складає пулвільних амінокислот. Тому видається досить вірогідним, що саме пул вільних амінокислот може виступати одним із вагомих чинників підвищення активності глутамін- і, особливо, аспарагінсинтетаз у верхніх листках озимої пшениці у ході вегетації на ґрунтах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3).

Таблиця 5

Кореляційна залежність активності глутамінсинтетаз і аспарагінсинтетаз від вмісту азотистих сполук у верхніх листках озимої пшениці

Варіант досліду	Коефіцієнт кореляції, r			
	Активність глутамінсинтетаз		Активність аспарагінсинтетаз	
	NH_4^+ мкг/мг білка	Азот амінний, мкг/мг білка	NH_4^+ мкг/мг білка	Азот амінний, мкг/мг білка
Варіант 1	+0,18 P > 0,05	+0,36 P > 0,05	-0,77 P < 0,05	-0,10 P > 0,05
Варіант 2	-0,87 P < 0,01	+0,40 P > 0,05	-0,73 P < 0,1	+0,79 P < 0,05
Варіант 3	-0,82 P < 0,05	+0,67 P > 0,05	-0,61 P > 0,05	+0,96 P < 0,001

Примітка: Характеристику варіантів див. табл. 3. P – достовірність коефіцієнта кореляції.

[131] Expression of a ferredoxin-dependent glutamate synthase gene in mesophyll and vascular cells and functions of the enzyme in ammonium assimilation in Nicotiana tabacum (L.) / M. Feraud, C. Masclaux–Daubresse, S. Ferrario–Méry [et al.] // Planta. – 2005. – V. 222, N 4. – P. 667 – 677.

[132] Free amino acids in botanicals and botanical preparations / B. Carratù, C. Boniglia, S. Giammarioli [et al.] // J. Food Sci. – 2008. – V. 73, N 5. –P. 323 – 328.

Значний інтерес у цьому аспекті становлять глутамат, аспартат, та їх аміди (глутамін та аспарагін), які, як відомо [133], [134], [135], здатні суттєво впливати на синтез цих ферментів у тканинах рослин у модельних експериментах. Тим не менше, функціональна значимість цих амінокислот у регуляції синтезу та активності ферментів асиміляції амонійного азоту у тканинах рослин в онтогенезі за різних умов ґрунтового живлення не була предметом детального аналізу. Проведеними дослідженнями встановлено, що вміст та співвідношення цих амінокислот у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі закономірно змінюється залежно від умов ґрунтового живлення рослин. Так, у варіанті з оптимальними умовами живлення динаміка вмісту глутамату і аспартату у листках озимої пшениці в онтогенезі має реципрокний характер. При цьому збільшення вмісту глутамату у фазі трубкування супроводжується одночасним зменшенням вмісту аспартату у листках озимої пшениці. Зменшення вмісту глутамату на кінцевих етапах вегетації рослин, навпаки, супроводжується збільшенням вмісту аспартату у листках цих рослин (рис. 9).

Така динаміка вмісту глутамату і аспартату у листках пшениці досить добре узгоджується із динамікою активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у листках цих рослин (див. рис. 6).

У цілому, залежність між активністю досліджуваних ферментів та вмістом субстратів цих ферментів (глутамат, аспартат) у листках пшениці у ході вегетації рослин у варіанті з оптимальним поживним режимом характеризується позитивними кореляційними зв’язками (r= +0,84 – +0,90, P < 0,05) (табл. 6). Отримані результати свідчать, що за оптимальних умов живлення глутамат і аспартат є важливими факторами у регуляції активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у

[133] Masclaux-Daubresse C. The two nitrogen mobilisation- and senescence-associated GS1 and GDH genes are controlled by C and N metabolites / C. Masclaux-Daubresse, E. Carrayol, M. H. Valadier // Planta. – 2005. – V. 221, N 4. – P. 580 – 588.

[134] Kinetic properties and ammonium-dependent regulation of cytosolic isoenzymes of glutamine synthetase in Arabidopsis / K. Ishiyama, E. Inoue, A. Watanabe-Takahashi [et al.] // J. Biol. Chem. – 2004. – V. 279, N 16. – P. 16598 – 16605.

[135] Implication of the glutamine synthetase/glutamate synthase pathway in conditioning the amino acid metabolism in bundle sheath and mesophyll cells of maize leaves / M. H. Valadier, A. Yoshida, O. Grandjean [et al.] // FEBS J. – 2008. – V. 275, N 12. – P. 3193 – 3206.

листках озимої пшениці у ході вегетації. У варіантах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3) реципрокна динаміка вмісту глутамату і аспартату у листках озимої пшениці в онтогенезі практично нівелюється. У цих варіантах невеликі коливання вмісту глутамату у тканинах листків рослин у ході вегетації супроводжуються значним збільшенням у тканинах цих листків аспартату, вміст якого у наших дослідах на кінцевих етапах онтогенезу на 117 – 276% перевищував його рівень у фазі кущіння (див. рис. 9). За таких умов кореляційний зв'язок між вмістом глутамату і активністю глутамінсинтетаз в онтогенезі рослин є низьким.

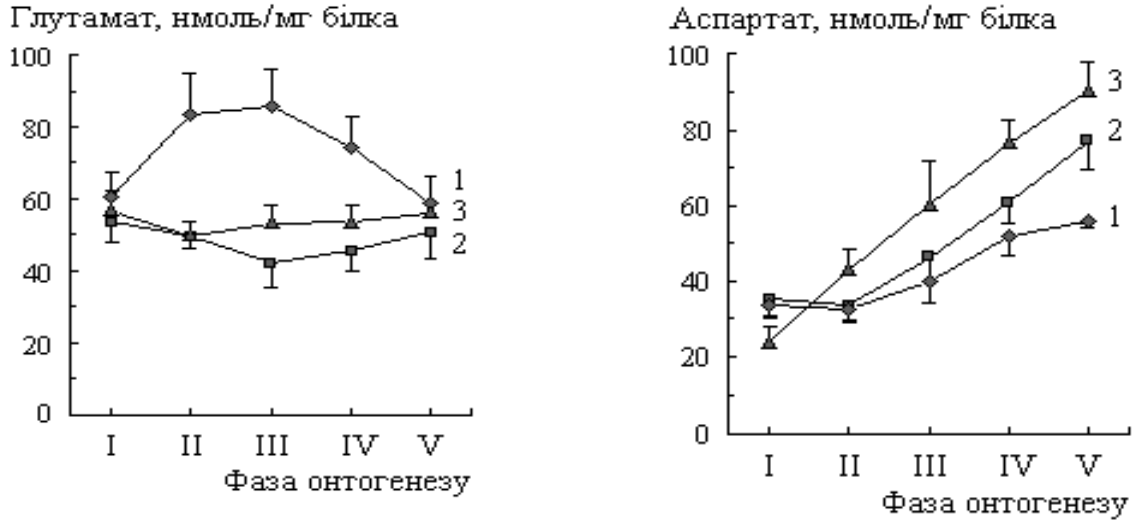


Рис. 9. Вміст глутамату і аспартату у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі у варіантах з різними умовами живлення (2005 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуваннння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – вміст амінокислот, нмоль/мг білка. Інші позначення див. рис. 8.

Разом з тим, між вмістом аспартату і активністю аспарагінсинтетаз у листках пшениці в онтогенезі виявлено тісну позитивну кореляцію ($r = +0,74 – +0,89$, $P < 0,05$) (див. табл. 6). Ці результати свідчать, що за несприятливих умов ґрунтового живлення озимої пшениці, які супроводжуються пригніченням глутаматсинтазного шляху асиміляції амонію (варіанти 2, 3),

асиміляція його в онтогенезі цих рослин активується, в основному, внаслідок збільшення активності аспарагінсинтетаз та посилення синтезу аспарагіну.

Таблиця 6

Кореляційна залежність активності глутамін- і аспарагінсинтетаз від вмісту глутамату, аспартату та їх амідів у верхніх листках озимої пшениці

Варіант досліду	Коефіцієнт кореляції, r			
	Глутамінсинтетази		Аспарагінсинтетази	
	Глутамат	Глутамін + аспарагін	Аспартат	Глутамін + аспарагін
Варіант 1	+0,90 P < 0,05	+0,19 P > 0,05	+0,84 P < 0,05	-0,81 P < 0,05
Варіант 2	-0,54 P > 0,05	-0,99 P < 0,001	+0,74 P < 0,05	-0,96 P < 0,001
Варіант 3	+0,32 P > 0,05	-0,99 P < 0,001	+0,89 P < 0,01	-0,85 P < 0,01

Примітка: Характеристику варіантів див. табл. 3. P – достовірність коефіцієнта кореляції.

Сумарний вміст амідів глутамату і аспартату (глутамін, аспарагін) у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі поступово знижувався у всіх дослідних варіантах і на кінець вегетації рослин (фаза молочної стиглості) складав 37 – 55% від їх вмісту у листках цих рослин у фазі кущіння (рис. 3.10). Шляхом кореляційного аналізу встановлено, що існує досить тісна від'ємна кореляція (r = -0,85 – -0,99, P < 0,01 – 0,001) між сумарним вмістом глутаміну і аспарагіну та активністю глутамін- і аспарагінсинтетаз в листках пшениці в ході вегетації у варіантах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3) (див. табл. 6). Від'ємна кореляція виявлена також між активністю аспарагінсинтетаз та сумарним вмістом амідів глутамату і аспартату у листках пшениці у варіанті із оптимальними умовами живлення цих рослин (r = -0,81, P < 0,05). Разом з тим, стосовно глутамінсинтетаз така кореляція у варіанті з оптимальними умовами живлення озимої пшениці відсутня, що свідчить про меншу

залежність активності глутамінсинтетаз у листках озимої пшениці від вмісту в них глутаміну і аспарагіну за таких умов. Тим не менше, отримані результати свідчать, що зниження вмісту амідів глутамату і аспартату (глутамін, аспарагін) у листках рослин озимої пшениці в онтогенезі також може бути одним із важливих факторів регуляції активності глутамін- і аспарагінсинтетаз продуктами ферментативної реакції за принципом негативного зворотного зв'язку.

Динаміка сумарного вмісту хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці у ході вегетації у 2005 році у різних варіантах досліду була аналогічною даним у 2004 році.

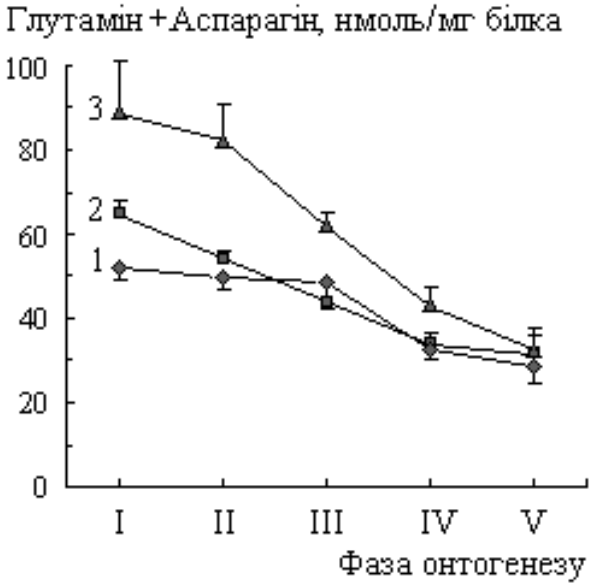


Рис. 10. Сумарний вміст глутаміну і аспарагіну у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі у варіантах з різними умовами живлення (2005 р., середні дані трьох біологічних повторностей, n = 6)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуваннння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – сумарний вміст глутаміну і аспарагіну, нмоль/мг білка. Інші позначення див. рис. 8.

Починаючи з фази колосіння, спостерігалось поступове зменшення сумарного вмісту хлорофілу у листках рослин озимої пшениці у всіх дослідних варіантах (табл. 7), як і у 2004 році (див. табл. 1). При цьому у варіантах з несприятливими умовами ґрунтового живлення (варіанти 2, 3) зниження сумарного вмісту

хлорофілу у листках озимої пшениці відбувалось більш швидкими темпами. У зв'язку з цим, у фазі молочної стиглості сумарний вміст хлорофілу у листках пшениці у варіанті 1, з оптимальними умовами живлення, складав 1,18 мг/г сирої речовини, а у варіантах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3) – 0,81-0,86 г сирої речовини, тобто 68,64-72,88 % від його рівня у варіанті 1. Ці результати перш за все свідчать про прискорену деградацію хлорофілу і старіння хлоропластів верхніх листків рослин озимої пшениці у варіантах з несприятливими умовами ґрунтового живлення.

Таблиця 7

Сумарний вміст хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов живлення (2005 р., M ± m, n = 6)

Фаза онтогенезу	Сумарний вміст хлорофілу, мг/г сирої речовини		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Кущіння	2,37 ± 0,08	2,03 ± 0,06*	1,72 ± 0,08*
Трубкування	2,88 ± 0,18	2,39 ± 0,07*	2,45 ± 0,07*
Колосіння	2,52 ± 0,10	1,71 ± 0,08*	1,84 ± 0,08*
Цвітіння	2,50 ± 0,12	1,68 ± 0,09*	1,74 ± 0,05*
Молочна стиглість	1,18 ± 0,05	0,81 ± 0,05*	0,86 ± 0,03*

Примітка: Характеристику варіантів див. табл. 3. * – достовірність різниці відносно варіанту 1, $P < 0,05$.

Співставлення активності глутамін- і аспарагінсинтетаз та сумарного вмісту хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці у ході вегетації було проведено методами кореляційного аналізу (табл. 8). Показано, що позитивна кореляція між активністю глутамінсинтетаз і сумарним вмістом хлорофілу в листках рослин має місце лише у варіанті зі сприятливим режимом ґрунтового живлення (варіант 1, $r = +0,77$, $P < 0,05$).

У варіантах 2 і 3, з несприятливими умовами ґрунтового живлення (кислі ґрунти (pH_{KCl} 4,02) з низьким вмістом основних елементів живлення або сильно кислі ґрунти (pH_{KCl} 3,70) з достатньо високим вмістом основних елементів живлення), між цими

показниками відмічено негативний кореляційний зв'язок (r = -0,73 – -0,77, P < 0,1 – 0,05).

Негативна кореляція виявлена також між сумарним вмістом хлорофілу і активністю аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці у ході вегетації у всіх дослідних варіантах. Видається очевидним, що за умов оптимального живлення і розвитку рослин збільшення активності глутамінсинтетаз в онтогенезі пов'язане, в основному, з хлоропластною ізоформою цього ферменту.

Таблиця 8

Кореляційна залежність активності глутамін- і аспарагінсинтетаз від сумарного вмісту хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці

Ферменти	Коефіцієнт кореляції, r		
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Глутамінсинтетази	+0,77 P < 0,05	-0,73 P < 0,1	-0,77 P < 0,05
Аспарагінсинтетази	-0,87 P < 0,05	-0,64 P > 0,05	-0,67 P > 0,05

Примітка: Характеристику варіантів див. табл. 3. P – достовірність коефіцієнта кореляції.

Разом з тим, це супроводжується реципрокним зменшенням активності аспарагінсинтетаз, які, як відомо [136], [137], локалізуються переважно у цитозольній фракції клітин. Несприятливі умови живлення і розвитку рослин у варіантах 2 і 3 характеризуються прискореним зниженням сумарного вмісту хлорофілу, а отже, прискореною деградацією хлоропластів та зменшенням активності хлоропластної глутамінсинтетази у ході вегетації рослин. За таких умов адаптивне посилення асиміляції амонійного азоту у листках рослин відбувається, очевидно, за рахунок індукції синтезу цитозольних форм глутамін- і аспарагінсинтетаз.

Таким чином, отримані результати свідчать, що у верхніх листках озимої пшениці має місце спряжена регуляція активності

[136] Ikeda A. Regulation of carbon source partitioning in plants: all about regulation in response to internal ratio of C and N / A. Ikeda, Y. Sonoda, J. Yamaguchi // Tanpakushitsu Kakusan Koso. – 2003. – V. 48, N 15 (Suppl). – P. 2103 – 2112.

[137] Xu Z. Research advance in nitrogen metabolism of plant and its environmental regulation / Z. Xu, G. Zhou // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2004. – V. 15, N 3. – P. 511 – 516.

ферментів первинної асиміляції амонійного азоту – глутамін- і аспарагінсинтетаз. Характер такої регуляції залежить від умов живлення і рівня продуктивності рослин. За оптимальних умов живлення основним механізмом асиміляції амонійного азоту у верхніх листках озимої пшениці є глутаматсинтазний цикл, ключове положення в якому займають глутамінсинтетази. Активність глутамінсинтетаз у листках цих рослин за таких умов розвитку рослин у 4,4-10,0 разів вища, ніж активність аспарагінсинтетаз. При цьому активність аспарагінсинтетаз листків в ході вегетації рослин реципрокно змінюється відносно рівня активності глутамінсинтетаз. Відносний внесок активності аспарагінсинтетаз в асиміляцію амонійного азоту відчутно збільшується на кінцевих етапах вегетації рослин, що узгоджується з уявленнями про важливу роль аспарагіну, як транспортної форми органічного азоту на кінцевих етапах вегетації зернових культур [138], [139], [140]. Несприятливі умови живлення різного ґенезу (варіанти 2 і 3) і пригнічення розвитку рослин супроводжуються зменшенням активності глутамінсинтетаз і значним приростом активності аспарагінсинтетаз в листках. При цьому в ході вегетації рослин спостерігається односпрямоване збільшення активності обох ферментів із переважанням приросту активності аспарагінсинтетаз. Такі зміни у співвідношенні активності досліджуваних ферментів слід, очевидно, розглядати як механізм метаболічної адаптації рослин до несприятливих умов вегетації рослин. Отримані результати свідчать, що іони амонію навряд чи можуть бути задіяні в процесах індукції синтезу або активації глутамінсинтетаз, аспарагінсинтетаз в онтогенезі рослин озимої пшениці. Потенційно вони можуть функціонувати лише як негативні регулятори рівня активності цих ферментів. Найбільш вірогідно, рівень синтезу і активності глутамін- та аспарагінсинтетаз в листках

[138] Amino acid metabolism in maize earshoots. Implications for assimilate preconditioning and nitrogen signaling / J. R. Seebauer, S. P. Moose, B. J. Fabbri [et al.] // Plant Physiol. – 2004. – V. 136, N 4. – P. 4326 – 4334.

[139] Combined agronomic and physiological aspects of nitrogen management in wheat highlight a central role for glutamine synthetase / T. Kichey, E. Heumez, D. Pocholle [et al.] // New Phytol. – 2006. – V. 169, N 2. – P. 265 – 278.

[140] Two cytosolic glutamine synthetase isoforms of maize are specifically involved in the control of grain production / A. Martin, J. Lee, T. Kichey [et al.] // Plant Cell. – 2006. – V. 18, N 11. – P. 3252 – 3274.

озимої пшениці в онтогенезі регулюється в першу чергу факторами, що визначають ріст і розвиток рослин, у тому числі інтенсивністю метаболізму азотистих сполук, зокрема амінокислот глутамату, аспартату та їх амідів, а також активністю фотосинтетичних процесів. Результати цих досліджень опубліковано у наукових працях [141], [142], [143], [144], [145].

Вплив умов живлення на фотохімічну активність хлоропластів та вміст цукрів у листках озимої пшениці

Серед факторів, які суттєво впливають на азотне живлення рослин, важливе місце займають процеси фотосинтезу. Це визначається декількома чинниками. По-перше, у хлоропластах клітин локалізується декілька ключових ферментів асиміляції неорганічного азоту. Зокрема, це нітритредуктаза, яка забезпечує фотосинтетичне відновлення нітритів до аміаку [146], [147] і хлоропластна ізоформа глутамінсинтетази, яка займає важливе місце у асиміляції амонійного азоту в амінокислоти і білки [148], [149]. По-друге, саме хлоропласти виступають основним джерелом відновних еквівалентів NADPH і NADH, які використовуються у нітратредуктазній реакції, та АТР, яка необхідна для асиміляції амонійного азоту за участю глутамін- і аспарагінсинтетаз. По-третє, за останні десятиріччя у

[141] Дубицький О. Зміни активності глутамінсинтетази листків в онтогенезі озимої пшениці залежно від умов живлення / О. Дубицький, Г. Ґабрієль // Вісник Львів. ун-ту. – Сер. біол. – 2006.– Вип.42. – С. 128 – 132.

[142] Dubitsky A. Metabolite regulation of glutamine and asparagines synthetases activities within winter whet leaves / A. Dubitsky // Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution. : Proc. III Internat. Young Sci. conf. (May 15 – 18, 2007, Odesa). – Odesa, 2007. – P. 19 – 20.

[143] Дубицький О. Л. Активність глутамін- і аспарагінсинтетази в листках при вирощуванні озимої пшениці в умовах стаціонарного досліду / О. Л. Дубицький, Г. Й. Ґабрієль, К. С. Ткачук // Фізіол. і біохім. культ. рослин. – 2006. – Т. 38, № 6. – С. 508 – 514.

[144] Дубицький О. Л. Динаміка активності аспарагінсинтетази листків в онтогенезі озимої пшениці на ґрунтах з різним режимом живлення / О. Л. Дубицький // Молодь і поступ біології : Тези доп. 2-ї міжнародної наук. конф. студ. і аспірантів (21 – 24 березня 2006 року, м. Львів). – Львів : СПОЛОМ, 2006. – С. 373 – 374.

[145] Дубицький О. Накопичення дикарбонових амінокислот і їх амідів у листках озимої пшениці за різних умов живлення / О. Дубицький, Г. Габрієль, К. Ткачук // Вісник Львів. ун-ту. – Сер. біол. – 2008.– Вип. 46. – С. 179 – 184.

[146] Kim C. H. Regulation of nitrite reductase by light and nitrate in the cotyledons of hot pepper (Capsicum annuum L.) / C. H. Kim, Y. H. Cho, Y. N. Hong // Mol. Cells. – 1999. – V. 9, N 2. – P. 152 – 157.

[147] Implication of the glutamine synthetase/glutamate synthase pathway in conditioning the amino acid metabolism in bundle sheath and mesophyll cells of maize leaves / M. H. Valadier, A. Yoshida, O. Grandjean [et al.] // FEBS J. – 2008. – V. 275, N 12. – P. 3193 – 3206.

[148] Glutamine synthetase of potato (Solanum tuberosum L. cv. Desiree) plants: cell– and organ specific expression and differential regulation reveal specific roles in nitrogen assimilation and mobilization / J. Teixeira, S. Pereira, F. Canovas, R. Salema // J. Exp. Bot. – 2005. – V. 56, N 412. – P. 663 – 671.

[149] Xu Z. Research advance in nitrogen metabolism of plant and its environmental regulation / Z. Xu, G. Zhou // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2004. – V. 15, N 3. – P. 511 – 516.

модельних дослідах отримані докази індукції та репресії генів ферментів асиміляції неорганічного азоту (нітратредуктаза, глутамінсинтетази, аспарагінсинтетази) в клітинах паростків рослин рівнем фотосинтетичної активності хлоропластів та вуглецевими метаболітами, зокрема цукрами [150], [151].

В окремих роботах отримано результати, які свідчать про те, що зміни умов живлення здатні суттєво модифікувати якісні та кількісні параметри фотосинтетичного апарату рослин [152], [153]. Так, з використанням імітаційних мікрокосмних моделей показано, що додавання до субстрату (бурувато-підзолистий ґрунт) азотного, фосфорного і калійного удобрення або біогумусу призводить до підвищення вмісту хлорофілів a, b, їх співвідношення (хл *a*/хл *b*) та вмісту каротиноїдів у паростках кукурудзи на ранніх фазах онтогенезу [154]. Дефіцит та двократний надлишок катіонів K^+ або Ca^{2+} у поживному середовищі зумовлює зміни співвідношення темнового та фотодихання, величин опору мезофілу CO_2 дифузії листків, а також вмісту хлорофілів a, b та їх сумарного вмісту у листках 21-добових рослин ярої пшениці [155]. Вплив умов азотного живлення на функціональні параметри електрон-транспортного ланцюга хлоропластів відмічено авторами [156]. Таким чином, зміни умов живлення здатні виявляти суттєвий вплив на параметри структурно-функціональної організації фотосинтетичного апарату і, отже,

[150] Jonassen E. M. HY5 and HYH are positive regulators of nitrate reductase in seedlings and rosette stage plants / E. M. Jonassen, U. S. Lea, C. Lillo // Planta. – 2008. – V. 227, N 3. – P. 559 – 564.

[151] Li H. D. Effects of different nitrogen application rate on allocation of photosynthetic electron flux in Rumex K-1 leaves / H. D. Li, H. Y. Gao // Zhi Wu Sheng Li Yu Fen Zi Sheng Wu Xue Xue Bao. – 2007. – V. 33, N 5. – P. 417 – 424.

[152] Оплачко Л. Т. Вміст пігментів та стан хлорофіл-білкових комплексів в проростках кукурудзи за різних умов живлення / Л. Т. Оплачко, А. Г. Должицька // Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку. – К. : Логос, 2009. – Т. 1. – С. 159 – 162.

[153] Ткачук К. С. Фізіологічна роль та ефективність використання калію і кальцію рослинами / К. С. Ткачук, Т. В. Жукова. – К. : ДІА, 2009. – 112 с.

[154] Должицька А. Г. Вміст пігментів у проростках кукурудзи за дії різних умов вирощування / А. Г. Должицька, Л. Т. Оплачко // Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія. – Чернівці : Рута, 2008. – Вип. 417. – С. 326 – 330.

[155] Ткачук К. С. Фізіологічна роль та ефективність використання калію і кальцію рослинами / К. С. Ткачук, Т. В. Жукова. – К. : ДІА, 2009. – 112 с.

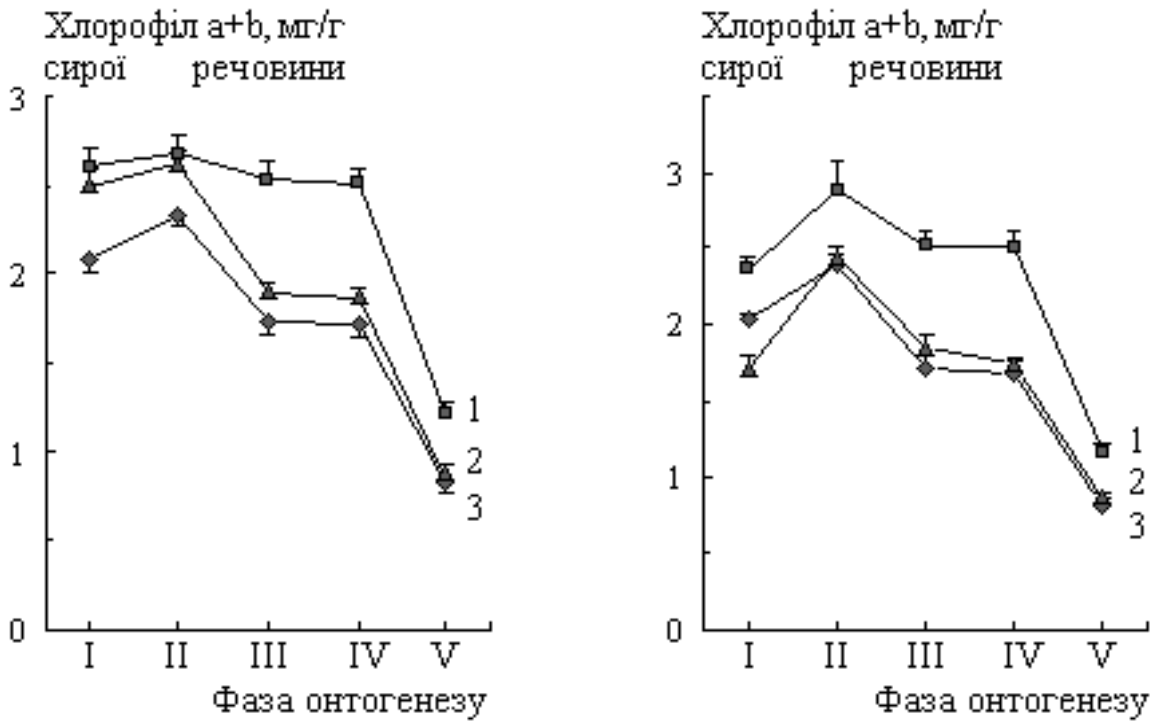
[156] Li H. D. Effects of different nitrogen application rate on allocation of photosynthetic electron flux in Rumex K-1 leaves / H. D. Li, H. Y. Gao // Zhi Wu Sheng Li Yu Fen Zi Sheng Wu Xue Xue Bao. – 2007. – V. 33, N 5. – P. 417 – 424.

модифікувати спрямованість метаболічних процесів рослинного організму.

Поряд з тим, у наших дослідженнях виявлено тісні кореляційні зв'язки між вмістом хлорофілу та активністю ключових ферментів асиміляції нітратного і амонійного азоту у листках пшениці в онтогенезі. Разом з тим, у літературі мало висвітлені питання щодо стану фотосинтетичного апарату рослин пшениці за різних умов живлення. Це стало підставою для більш детального аналізу динаміки фотохімічної активності хлоропластів, сумарного вмісту хлорофілу, вмісту хлорофілів *a*, *b* і цукрів у верхніх листках озимої пшениці у ході вегетації на ґрунтах з різними умовами живлення.

Проведеними дослідженнями встановлено (рис. 11), що сумарний вміст хлорофілів *a* і *b* у верхніх листках озимої пшениці у ході вегетації у варіанті з оптимальними умовами ґрунтового живлення (варіант 1) підтримується на досить стабільному рівні (2,37-2,88 мг/г сирої речовини). Помітне зниження сумарного вмісту хлорофілу у листках цих рослин спостерігалось лише на кінцевих фазах вегетації (молочна стиглість), де він становив 46-50 % від його рівня у період найбільш інтенсивного росту і розвитку рослин (фаза трубкування). У варіантах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3) сумарний вміст хлорофілів *a* і *b* був дещо нижчим і швидше знижувався у ході вегетації рослин, починаючи з фази трубкування. У фазі молочної стиглості сумарний вміст хлорофілу в листках пшениці у цих варіантах складав 33-35 %, порівняно з його вмістом у листках цих рослин у фазі трубкування.

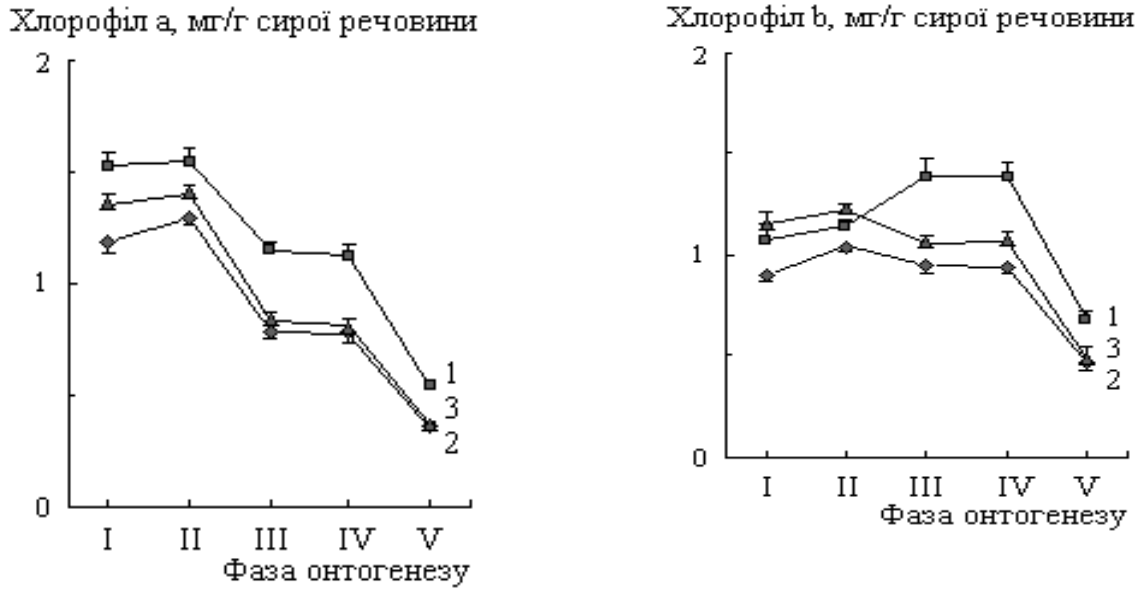
Вміст окремих форм хлорофілу (*a* і *b*) в онтогенезі рослин характеризується неоднаковою динамікою (рис. 12). Так, вміст хлорофілу *a* у верхніх листках озимої пшениці у всіх дослідних варіантах поступово знижувався в ході вегетації. Вміст хлорофілу *b* у листках рослин пшениці до фази цвітіння дещо збільшувався або підтримувався на стабільному рівні, залежно від дослідного варіанту (рис. 12).



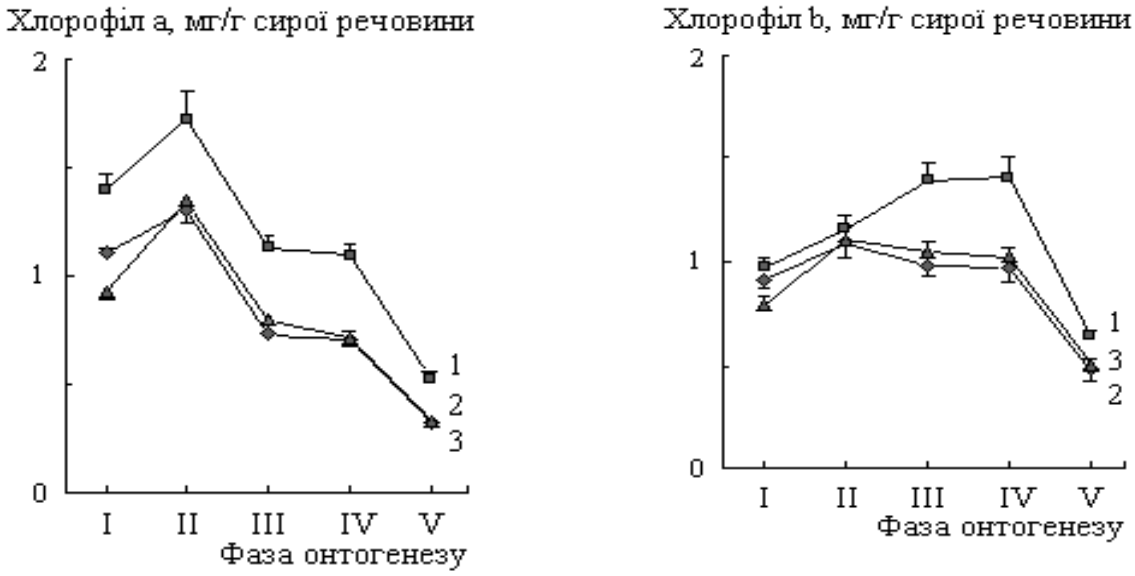
2004 р. *2005 р.*

Рис. 11. Сумарний вміст хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов ґрунтового живлення

1 – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), 2 – поживний режим ґрунту з низьким вмістом елементів живлення та кислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 4,02), 3 – поживний режим ґрунту з достатнім вмістом основних елементів живлення та сильно кислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 3,70).



2004 р.



2005 р.

Рис. 12. Вміст хлорофілу *a* і *b* у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов ґрунтового живлення

Характеристику варіантів 1, 2, 3 див. рис. 11.

У зв'язку з цим співвідношення вмісту хлорофілів *a* і *b* (хл *a*/хл *b*) поступово знижувалось у весняно-літній період вегетації озимої пшениці у всіх дослідних варіантах (табл. 9).

Таблиця 9

Співвідношення хлорофілу *a* і *b* (хл *a*/хл *b*) у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов ґрунтового живлення (M ± m, n = 6)

Фаза онтогенезу	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
I, Кущіння	1,45 ± 0,06 1,46 ± 0,12	1,32 ± 0,04* 1,22±0,06*	1,19 ± 0,04* 1,18 ± 0,04*
II, Трубкування	1,36 ± 0,03 1,47 ± 0,07	1,25 ± 0,01* 1,21 ± 0,06*	1,16 ± 0,02* 1,25 ± 0,07*
III, Колосіння	0,85 ± 0,07 0,83 ± 0,08	0,84 ± 0,04 0,75 ± 0,04	0,80 ± 0,02 0,77 ± 0,03
IV, Цвітіння	0,83 ± 0,06 0,80 ± 0,07	0,83 ± 0,05 0,74 ± 0,03	0,77 ± 0,04 0,71 ± 0,06
V, Молочна стиглість	0,79 ± 0,02 0,80 ± 0,05	0,77 ± 0,06 0,71 ± 0,07	0,79 ±0,06 0,66 ± 0,03

Примітка. 1 – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), 2 – поживний режим ґрунту з низьким вмістом елементів живлення та кислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 4,02), 3 – поживний режим ґрунту з достатнім вмістом основних елементів живлення та

сильно кислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 3,70). У чисельнику – 2004 р., у знаменнику – 2005 р. * – достовірність різниці відносно варіанту 1, $P < 0,05$.

Дещо відмінні величини цього показника у варіантах з несприятливими умовами живлення спостерігались на початкових етапах вегетації рослин.

Отже несприятливі умови ґрунтового живлення різного походження призводять, перш за все, до пришвидшеного зниження сумарного вмісту хлорофілу та вмісту хлорофілів *a* і *b* у верхніх листках рослин у ході вегетації, порівняно з рослинами, які ростуть на ґрунтах з оптимальними умовами живлення. Разом з тим, це не супроводжується суттєвими змінами співвідношення вмісту хлорофілів *a* і *b* і, отже, значними перебудовами фотоантенних систем хлоропластів листків пшениці.

Базальна і ADP-стимульована фотохімічна активність хлоропластів верхніх листків озимої пшениці у ході вегетації у варіанті з оптимальними умовами живлення змінюється за параболічною залежністю з максимумом у фазах трубкування і колосіння, які характеризуються найбільшою інтенсивністю росту і розвитку рослин (рис. 13).

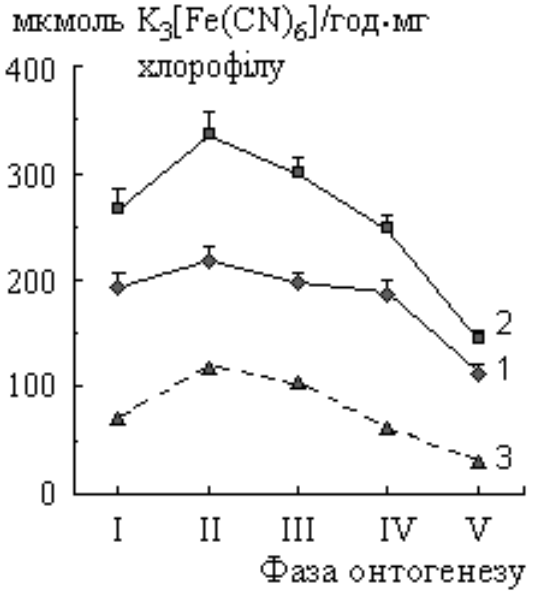


Рис. 13. Фотохімічна активність хлоропластів верхніх листків в онтогенезі озимої пшениці за оптимальних умов живлення (2005 р.)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуванння,

III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – фотохімічна активність, мкмоль відновленого $K_3[Fe(CN)_6]$/год·мг хлорофілу. 1 – базальна фотохімічна активність ізольованих хлоропластів, 2 – фотохімічна активність після внесення в середовище інкубації ізольованих хлоропластів ADP (3 мМ), 3 – ADP-стимульована компонента фотохімічної активності ізольованих хлоропластів. Оптимальний поживний режим ґрунту (варіант 1, pH_{KCl} 5,36).

Фотохімічна активність хлоропластів листків озимої пшениці у ході вегетації у варіантах з несприятливими умовами ґрунтового живлення також змінюється за параболічною залежністю з максимумом у фазах трубкування і колосіння (рис. 14). Проте рівень фотохімічної активності хлоропластів рослин пшениці, які росли на ґрунтах з різними умовами живлення, суттєво відрізняється.

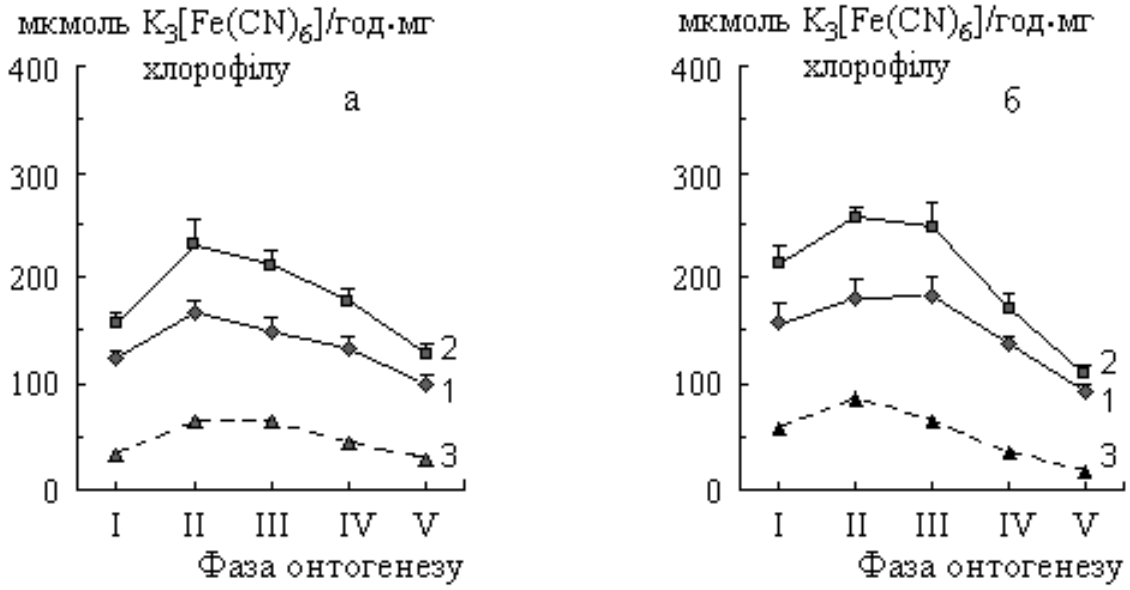


Рис. 14. Фотохімічна активність хлоропластів верхніх листків в онтогенезі озимої пшениці за несприятливих умов живлення (2005 р.)

а – поживний режим ґрунту з низьким вмістом елементів живлення, кислою реакцією ґрунтового розчину, pH_{KCl} 4,02 (варіант 2), б – поживний режим ґрунту з достатнім вмістом основних елементів живлення, сильно кислою реакцією ґрунтового розчину, pH_{KCl} 3,70 (варіант 3). Інші позначення див. рис. 13.

Так, базальна і ADP- стимульована фотохімічна активність хлоропластів озимої пшениці у варіанті 2 становила у фазі трубкування 69 і 77 %, а у варіанті 3 – 83 і 76%, відповідно, від її

рівня у варіанті з оптимальними умовами живлення (варіант 1). Хлоропласти, ізольовані з рослин, вирощених у варіантах з несприятливими умовами живлення, характеризуються також нижчими рівнями діафоразної активності фередоксин-NADP-оксидоредуктази, особливо на кінцевих етапах вегетації рослин (рис. 15).

Рис. 15. Діафоразна активність фередоксин-NADP-оксидоредуктази хлоропластів верхніх листків в онтогенезі озимої пшениці залежно від умов живлення (2005 р.)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуваннння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – діафоразна активність фередоксин-NADP-оксидоредуктази, мкмоль 2,6-дихлор-фенолiндофенолу/хв·мг білка хлоропластів. Характеристику варіантів 1, 2, 3 див. рис. 11.

Динаміка вмісту цукрів (сахароза, фруктоза, глюкоза) у верхніх листках озимої пшениці у ході вегетації характеризується зворотною спрямованістю, порівняно з фотохімічною активністю хлоропластів. Так, вміст цих фотоасимілятів у листках озимої пшениці у всіх дослідних варіантах виявився найвищим у фазі кущіння (рис. 16).

У ході вегетації пшениці спостерігалось зниження вмісту цукрів у листках, яке було найбільш інтенсивним під час трубкування і колосіння рослин. Це відповідає найбільш високому рівню фотохімічної активності хлоропластів цих рослин (див. рис. 13, 14).

Така динаміка вмісту цукрів зумовлена, ймовірно, двома основними факторами – посиленням відпливу цукрів з листків у атрагуючі органи рослини та активацією метаболізму у періоди інтенсивного росту і розвитку рослини.

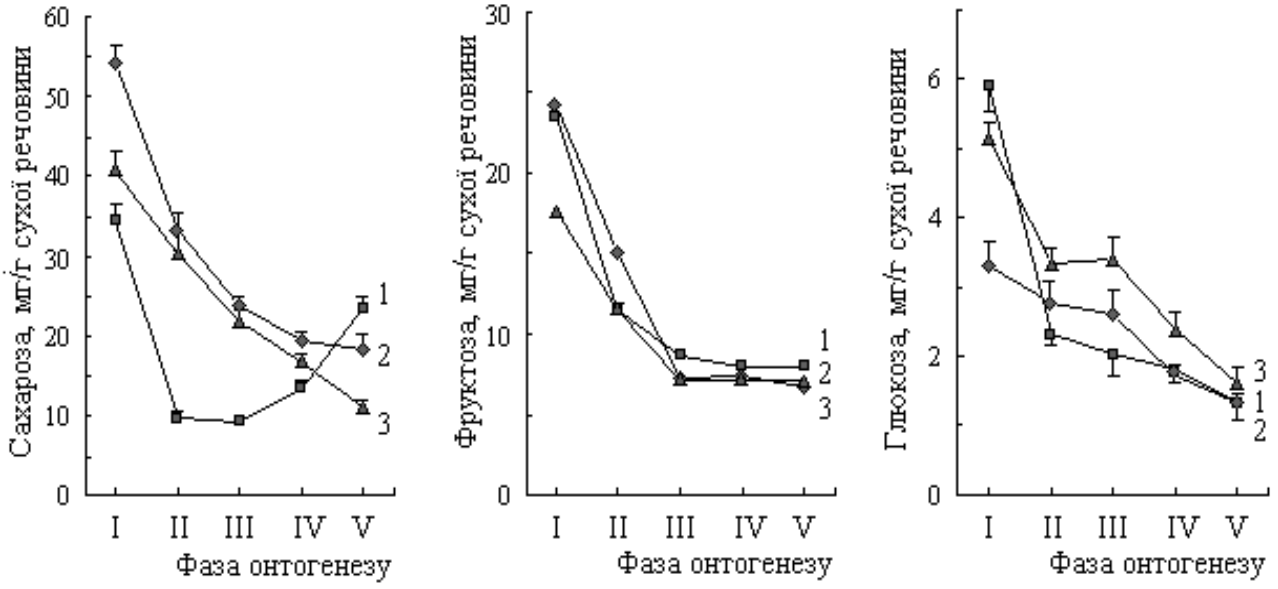


Рис. 16. Вміст цукрів у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі залежно від умов ґрунтового живлення (2005 р.)

На осі абсцис – фаза онтогенезу: I – кущіння, II – трубкуванння, III – колосіння, IV – цвітіння, V – молочна стиглість.

На осі ординат – вміст цукру, мг/г сухої речовини. Характеристику варіантів 1, 2, 3 див. рис. 11.

Характерно, що найбільш виражене зниження вмісту сахарози спостерігалось у рослин, які росли на ґрунті з оптимальними умовами живлення. Відмінності у вмісті фруктози і глюкози у листках рослин, які росли на ґрунтах з різним поживним режимом, були значно меншими. Отримані результати свідчать, що в онтогенезі озимої пшениці мають місце реципрокні зміни фотохімічної активності хлоропластів та вмісту цукрів, особливо сахарози, у верхніх листках цих рослин. Характер цих реципрокних змін залежить також від умов живлення рослин. За несприятливих умов живлення (варіанти 2 і 3) рівень сахарози у листках цих рослин є суттєво вищим, а фотохімічна активність хлоропластів – нижча, ніж у варіанті з оптимальними умовами живлення (варіант 1).

Методом однофакторного дисперсійного аналізу показано, що відносна сила впливу сахарози на відновлювальну і фотофосфорилювальну здатність хлоропластів (hx^2), розрахована за методом Снедекора [157], є досить вагомою і складає для різних дослідних варіантів від 33 до 53 % (табл. 10). Вплив моносахаридів (глюкоза, фруктоза) на показники фотохімічної активності хлоропластів виявився значно меншим. Так, відносна сила дії глюкози (hx^2) на досліджувані параметри фотохімічної активності хлоропластів у варіанті з оптимальними умовами живлення (варіант 1) складала 27,7-34,4 %.

Таблиця 10

Дисперсійний аналіз залежності фотохімічної активності хлоропластів від вмісту цукрів у верхніх листках озимої пшениці

Цукор	ФХА хлоропластів		ADP-стимульована ФХА хлоропластів		NADP-редуктазна активність хлоропластів	
	F	hx^2,%	F	hx^2,%	F	hx^2,%
Варіант 1						
Сахароза	3,74*	44,6	2,70*	33,2	4,90*	53,4
Фруктоза	1,93	18,2	2,01	16,5	1,39	8,4
Глюкоза	2,92*	27,7	3,10*	29,5	3,60*	34,1
Варіант 2						
Сахароза	4,21*	53,5	3,05*	42,3	2,79*	33,5
Фруктоза	1,74	11,2	2,99*	25,8	2,61	25,8
Глюкоза	1,81	15,9	3,42*	24,5	4,91*	34,4
Варіант 3						
Сахароза	4,90*	53,3	3,10*	38,1	3,54*	40,9
Фруктоза	2,00	15,5	2,20	18,2	0,55	8,9
Глюкоза	1,65	11,5	1,71	13,3	1,64	10,4

Примітка: ФХА – фотохімічна активність хлоропластів, NADP-редуктазна активність хлоропластів – діафоразна активність ферредоксин-NADP-оксидоредуктази хлоропластів, hx^2 – відносна сила дії фактора (%) за Снедекором. * – коефіцієнт Фішера, $F > F_{st}$ (2,46 – 2,76). Інші позначення див. табл. 9.

Дещо меншою мірою вплив глюкози на ці процеси виявлявся у варіанті 2 і практично був неістотним у варіанті 3, які

[157] Glutamine and alpha-ketoglutarate are metabolite signals involved in nitrate reductase gene transcription in untransformed and transformed tobacco plants deficient in ferredoxin-glutamine – alpha-ketoglutarate aminotransferase / S. Ferrario-Méry, C. Masclaux, A. Suzuki [et al.] // Planta. – 2001. – V. 213, N2. – P. 265 – 271.

характеризуються несприятливими умовами ґрунтового живлення. Відносна сила дії фруктози (hx^2) на фотохімічну активність хлоропластів у листках озимої пшениці виявилась найменш значимою. Отже, у регуляції фотохімічної активності хлоропластів у верхніх листках озимої пшениці найбільш вагоме місце займає сахароза. Регуляторний вплив цього дисахариду є досить стабільним і проявляється у рослин, вирощених на ґрунтах з різним режимом живлення. Із двох досліджуваних моносахаридів найбільш вірогідною є участь у цій регуляції глюкози. Певною мірою це узгоджується з даними ряду авторів про наявність у рослин відносно незалежних сахарозо- і глюкозо-чутливих механізмів репресії генів ферментів фотосинтезу [158], [159], [160], [161], [162], [163], [164], [165], [166], [167].

Проведеними дослідженнями встановлено, що динаміка вмісту цукрів (сахароза, фруктоза, глюкоза) та зміни активності ключових ферментів асиміляції азоту (нітратредуктаза, глутамін- і аспарагінсинтетази) у верхніх листках озимої пшениці в ході вегетації також мають переважно різноспрямований характер. Співставлення активності нітратредуктази, глутамінсинтетаз та вмісту сахарози у листках озимої пшениці дозволило виявити наявність тісних негативних кореляційних зв'язків між цими показниками у варіанті 1

[158] A conserved upstream open reading frame mediates sucrose-induced repression of translation / A. Wiese, N. Elzinga, B. Wobbes, S. Smeekens // Plant Cell. – 2004. – V. 16, N 7. – P. 1717 – 1729.

[159] Analysis of a sugar response mutant of Arabidopsis identified a novel B3 domain protein that functions as an active transcriptional repressor / H. Tsukagoshi, T. Saijo, D. Shibata [et al.] // Plant Physiol. – 2005. – V. 138, N 2. – P. 675 – 685.

[160] Anatomical and photosynthetic acclimation to the light environment in species with differing mechanisms of phloem loading / V. Amiard, K. E. Mueh, B. Demmig-Adams [et al.] // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 2005. – V. 102, N 36. – P. 12968 – 12973.

[161] Chiou T. J. Sucrose is a signal molecule in assimilate partitioning / T. J. Chiou, D. R. Bush // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1998. – V. 95, N 8. – P. 4784 – 4788.

[162] Establishing glucose- and ABA-regulated transcription networks in Arabidopsis by microarray analysis and promoter classification using a Relevance Vector Machine / Y. Li, K. K. Lee, S. Walsh [et al.] // Genome Res. – 2006. – V. 16, N 3. – P. 414 – 427.

[163] Harrington G. N. The bifunctional role of hexokinase in metabolism and glucose signaling / G. N. Harrington, D. R. Bush // Plant Cell. – 2003. – V. 15, N 11. – P. 2493 – 2496.

[164] Identification of mutants in metabolically regulated gene expression / T. Martin, H. Hellmann, R. Schmidt [et al.] // Plant J. – 1997. – V. 11, N 1. –P. 53 – 62.

[165] Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants / I. Couee, C. Sulmon, G. Gouesbet, A. El Amrani // J. Exp. Bot. – 2006. – V. 57, N 3. – P. 449 – 459.

[166] Roitsch T. Induction of apoplastic invertase of Chenopodium rubrum by D-glucose and a glucose analog and tissue-specific expression suggests a role in sink-source regulation / T. Roitsch, M. Bittner, D. E. Godt // Plant Physiol. – 1995. – V. 108, N 1. – P. 285 – 294.

[167] Sucrose-specific signaling represses the translation of the Arabidopsis ATF2 bZIP transcription factor gene / F. Rook, N. Gerrits, A. Kortstee [et al.] // Plant J. – 1998. – V. 15, N 2. – P. 253 – 263.

з оптимальними умовами живлення (r = -0,89 – -0,95, P < 0,001 – 0,05) (табл. 11). Кореляція між активністю аспарагінсинтетаз та вмістом сахарози у листках рослин цього варіанту виявилась мало значимою (r = +0,52, P > 0,05).

Таблиця 11

Кореляційна залежність активності нітратредуктази, глутамін- та аспарагінсинтетази від вмісту цукрів у верхніх листках озимої пшениці

Варіант досліду	Коефіцієнт кореляції, r		
	Сахароза, мг/г сухої речовини	Глюкоза, мг/г сухої речовини	Фруктоза, мг/г сухої речовини
Активність нітратредуктази, нмоль NO_2^- /год·г сирої речовини			
Варіант 1	-0,89, P < 0,05	-0,38, P > 0,05	-0,43, P > 0,05
Варіант 2	-0,97, P < 0,01	-0,79, P < 0,05	-0,99, P < 0,001
Варіант 3	-0,94, P < 0,01	-0,90, P < 0,05	-0,99, P < 0,001
Активність глутаміносинтетаз, мкмоль ГК/хв·мг білка екстракту тканин листків			
Варіант 1	-0,95, P < 0,001	-0,54, P > 0,05	-0,55, P > 0,05
Варіант 2	-0,88, P < 0,01	-0,97, P < 0,001	-0,85, P < 0,05
Варіант 3	-0,84, P < 0,05	-0,83, P < 0,05	-0,62, P > 0,05
Активність аспарагінсинтетаз, мкмоль ГК/хв·мг білка екстракту тканин листків			
Варіант 1	+0,52, P > 0,05	-0,17, P > 0,05	-0,14, P > 0,05
Варіант 2	-0,97, P < 0,01	-0,83, P < 0,05	-0,98, P < 0,001
Варіант 3	-0,92, P < 0,05	-0,84, P < 0,05	-0,99, P < 0,001

Примітка: P – достовірність коефіцієнта кореляції. Інші позначення див. табл. 9.

Крім того, активність досліджуваних ферментів не залежить від вмісту глюкози і фруктози у листках. У варіантах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3) між активністю нітратредуктази, глутамін- та аспарагінсинтетаз і вмістом цукрів у верхніх листках озимої пшениці виявлено переважно негативні кореляційні зв'язки (r = -0,79 – -0,99, P < 0,001 – 0,05) (див. табл. 11). Отримані результати не узгоджуються з даними ряду авторів [168], [169], [170] про стимуляцію

[168] Increased sucrose level and altered nitrogen metabolism in Arabidopsis thaliana transgenic plants expressing antisense chloroplastic fructose-1,6-bisphosphatase / M. Sahrawy, C. Avila, A. Chuece [et al.] // J. Exp. Bot. – 2004. – V. 55, N 408. – P. 2495 – 2503.

[169] Sivasankar S. Regulation of the accumulation and reduction of nitrate by nitrogen and carbon metabolites in maize seedlings / S. Sivasankar, S. Rothstein, A. Oaks // Plant Physiol. – 1997. – V. 114, N 2. – P. 583 – 589.

[170] Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism / M. Stitt, C. Müller, P. Matt [et al.] // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53, N 370. – P. 959 – 970.

активності цих ферментів за умов інфільтрації цурками паростків рослин. Отже, можливо, що за природних умов вегетації, цукри не беруть участі в активації ферментів нітратредуктази, глутамін- та аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці. Виходячи із отриманих нами даних, можна припустити, що ці метаболіти можуть виступати негативними регуляторами активності зазначених ферментів.

Таким чином, результати досліджень свідчать, що вміст цукрів у листках озимої пшениці є одним із вагомих чинників регуляції фотохімічної активності хлоропластів озимої пшениці у ході вегетації в польових умовах. Істотне місце у цій регуляції займають сахароза і глюкоза. Відносна сила впливу цих цукрів на фотохімічну активність залежить від умов вегетації рослин, зокрема від умов ґрунтового живлення рослин. Разом з тим цукри за природних умов вегетації рослин не мають стимулюючого ефекту на активність ферментів асиміляції азоту. Результати цих досліджень опубліковані у наукових працях [171], [172].

Загальна характеристика продуктивності та врожайності озимої пшениці у варіантах з різними умовами живлення

Для характеристики росту і розвитку рослин озимої пшениці у варіантах із різними умовами ґрунтового живлення було проаналізовано рівень їхньої біологічної продуктивності та врожайності (табл. 12). Найбільш високі показники продуктивності характерні для рослин у варіанті 1 з оптимальними умовами живлення: азот загальний – 114,0, P_2O_5 – 16,8, K_2O – 14,5, легкогідролізний азот – 10,66, NO_3^- – 0,59, NH_4^+ – 1,57 мг/100 г ґрунту (pH_{KCl} 5,4, рухомий алюміній – 0,2 мг/100 г ґрунту).

Так, висота рослин озимої пшениці за таких умов живлення становила за нашими даними 89,58 см, довжина колоса – 9,43 см, показники біологічної врожайності, а саме кількість зерен у колосі,

[171] Дубицький О. Фотохімічна активність хлоропластів листків озимої пшениці за різних умов живлення / О. Дубицький, Г. Габрієль, К. Ткачук // Вісник Львів. ун-ту. – Сер. біол. – 2007.– Вип.43. – С. 233 – 240.

[172] Дубицький О. Л. Регуляція цукрами активності глутамінсинтетази і аспарагінсинтетази листків в онтогенезі озимої пшениці за різних умов забезпечення поживними речовинами / О. Л. Дубицький, К. С. Ткачук // Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. – 2010. – Вип. 52, Ч. ІІ. – С. 12 – 20.

маса зерна у колосі, маса зерна на рослину, маса 1000 зерен відповідно – 28,17, 1,29, 1,82, 41,54 г.

Таблиця 12

Продуктивність рослин озимої пшениці залежно від умов живлення (2003 – 2005 рр., n = 90)

Показники продуктивності	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Висота рослин, см	89,58±0,37	60,16±0,42*	51,67±0,46**
Довжина колоса, см	9,43±0,08	5,74±0,05*	5,36±0,06**
Кількість зерен у колосі, шт.	28,17±0,18	8,89±0,11*	8,20±0,12**
Маса зерна у колосі, г	1,29±0,01	0,40±0,01*	0,36±0,01**
Маса зерна на рослину, г	1,82±0,02	0,47±0,01*	0,37±0,01**
Маса 1000 зерен, г	41,54±0,23	16,39±0,13*	14,83±0,10**

Примітка: 1 – оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), 2 – кислий поживний режим ґрунту, з низьким вмістом елементів живлення (pH_{KCl} 4,02), 3 – сильно кислий поживний режим ґрунту, з достатнім вмістом основних елементів живлення (pH_{KCl} 3,70). * – Різниця між варіантами 1 і 2 достовірна ($P < 0,05$); ** – різниця між варіантами 1, 2 і 3 достовірна ($P < 0,05$).

У варіанті 2, за низького вмісту основних елементів живлення (азот загальний – 112,0, P_2O_5 – 5,9, K_2O – 6,7, легкогідролізний азот – 7,86, NO_3^- – 0,28, NH_4^+ – 2,4 мг/100 г ґрунту), кислої реакції ґрунтового розчину (pH_{KCl} 4,0) та високого вмісту рухомого алюмінію (13,7 мг/100 г ґрунту), висота рослин і довжина колоса зменшувались в середньому на 33-39 %, а показники біологічної врожайності рослин (кількість і маса зерна в колосі, маса зерна однієї рослини) – на 68-74 %. У варіанті 3, за високого вмісту основних елементів живлення (азот загальний – 137,0, P_2O_5 – 24,1, K_2O – 13,9, легкогідролізний азот – 7,80, NO_3^- – 0,87, NH_4^+– 3,93 мг/100 г ґрунту), сильно кислої реакції ґрунтового розчину (pH_{KCl} 3,7) та високого вмісту рухомого алюмінію (15,2 мг/100 г ґрунту), зменшення цих показників було дещо більш вираженим і становило 42-43 і 71-80 %, відповідно.

Різний стан ґрунтового живлення суттєво вплинув також на сільськогосподарську врожайність та якість зерна озимої пшениці (табл. 13).

Таблиця 13

Врожайність та якість зерна озимої пшениці залежно від умов ґрунтового живлення (2003 – 2005 роки)

Варіант	Роки			Усереднені дані за 2003–2005 рр.
	2003	2004	2005	
Врожайність, ц/га				
1	33,5	40,7	24,0	32,7
2	12,2	15,3	13,2	13,6
3	10,7	2,0	10,5	7,7
Білок, %				
1	11,9	10,6	10,2	10,9
2	10,1	8,7	8,6	9,1
3	10,2	9,1	8,8	9,4
Клейковина, %				
1	25,6	20,4	20,2	22,1
2	21,2	17,6	17,4	18,7
3	22,0	17,8	17,6	19,1

Примітка: Характеристику варіантів див. табл. 12.

Так, покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту у варіанті 1 дозволило у сприятливі за погодними умовами роки отримати 40,7 ц/га зерна озимої пшениці, а в середньому за роки досліджень – 32,7 ц/га з найвищим вмістом білка (10,9 %) та клейковини (22,1 %). Погіршення хімічних властивостей ґрунту у варіантах 2 і 3, зокрема підвищення обмінної кислотності, зниження буферної ємності ґрунту та суттєве збільшення вмісту рухомого алюмінію, незважаючи на високий рівень рухомих форм основних елементів живлення у варіанті 3, призвело до значного зниження врожайності озимої пшениці. Так, у варіанті 2 врожайність зерна озимої пшениці складала в середньому за три роки 13,6 ц/га з вмістом білка і клейковини 9,1 і 18,7 %, відповідно (див. табл. 13). У варіанті 3 врожай зерна озимої пшениці знизився до 7,7 ц/га, а вміст білка і клейковини виявився близьким до варіанту 2 і становив 9,4 і 19,1 %, відповідно.

Таким чином, рослини озимої пшениці у варіантах з оптимальним і несприятливими умовами ґрунтового живлення суттєво розрізняються за біологічною продуктивністю, врожайністю

та якістю зерна і, отже, є адекватними об'єктами для аналізу адаптивних метаболічних реакцій засвоєння азоту рослинами на ґрунтах з різним режимом живлення. Отримані результати свідчать також про тісний взаємозв'язок між біологічною продуктивністю рослин озимої пшениці і активністю ключових ферментів асиміляції азоту – нітратредуктази, глутамінсинтетаз, аспарагінсинтетаз та інтенсивністю фотосинтетичних процесів у верхніх листках цих рослин. Несприятливі умови забезпечення поживними речовинами призводять, перш за все, до зростання вмісту фотоасимілятів (сахароза, глюкоза) та амідів (глутамін, аспарагін) у листках у період найбільш інтенсивного росту і збільшення вегетативної маси озимої пшениці. Це супроводжується зниженням інтенсивності фотосинтетичних процесів, зниженням активності нітратредуктази, глутамінсинтетаз та адаптивним зростанням активності аспарагінсинтетаз у листках рослин. Зазначені процеси відіграють важливу роль у зменшенні продуктивності та врожайності озимої пшениці. Результати цих досліджень опубліковані у наукових працях [173].

Механізми регуляції активності ферментів асиміляції азоту та динаміки фотохімічних процесів в листках озимої пшениці

Засвоєння азоту вищими рослинами, в тому числі озимою пшеницею, відбувається в основному у формі нітратів, які перетворюються в органічний азот після відновлення їх до амонію у клітинах рослини за участю нітрат- і нітритредуктази [174]. Встановлено, що активність нітритредуктази у тканинах рослин, зокрема у листках, є значно вищою, ніж активність нітратредуктази [175], [176]. Тому швидкість асиміляції нітратів рослинами лімітується, в основному, активністю нітратредуктази. Показано, що у багатьох

[173] Дубицький О. Л. Активність глутамін- і аспарагінсинтетази в листках при вирощуванні озимої пшениці в умовах стаціонарного досліду / О. Л. Дубицький, Г. Й. Ґабрієль, К. С. Ткачук // Фізіол. і біохім. культ. рослин. – 2006. – Т. 38, № 6. – С. 508 – 514.

[174] Ткачук К. С. Досягнення і перспективи розвитку досліджень проблеми кругообігу азоту в системі середовище-рослина / К. С. Ткачук // Физиология и биохимия культ. растений. – 2004. – Т. 36, № 3. – С. 187 – 204.

[175] Kelly J. T. Genetic variability in nitrogen utilisation of four growth stages in soft red winter wheat / J. T. Kelly, R. K. Bacon, B. R. Wells // J. Plant Nutr. – 1995. – V. 18, N 6. – P. 969 – 982.

[176] Modulation of nitrate reductase: some new insights, an unusual case and potentially important side reaction / W. M. Kaiser, H. Weiner, A. Kandlbinder [et al.] // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53, N 370. –P. 875 – 882.

випадках продуктивність зернових культур та асиміляція ними азоту позитивно корелює з активністю нітратредуктази листків [177]. Поряд з тим, рівень активності цього ферменту може бути одним із важливих факторів накопичення надлишкових кількостей нітратів і нітритів у рослинних тканинах [178], [179], [180].

В первинній асиміляції амонійного азоту у амінокислоти і білки рослинної клітини центральне місце посідають ферменти глутаматсинтазного циклу – глутамінсинтетази і глутаматсинтази. Ключове положення у цьому циклі займають глутамінсинтетази, які характеризуються достатньо високою спорідненістю до NH_4^+ (K'_m = 10^{-5} М), АТР (K'_m = 10^{-3} М) і глутамату (K'_m = 10^{-2} – 10^{-3} М) [181], [182]. Цей глутаматсинтазний цикл розглядається як основний шлях синтезу двох азотовмісних метаболітів – глутаміну і глутамату, з яких розпочинається асиміляція рослинами амонійного азоту. Поряд з тим, в органах рослин виявлені аспарагінсинтетази, які переважно є глутамін-залежними, і використовують для синтезу аспарагіну глутамін. Вони також характеризуються достатньо високою спорідненістю до глутаміну (K'_m = 0,04 – 0,26 мМ), аспартату (K'_m = 0,33 – 1,3 мМ) і АТР (K'_m = 0,14 мМ). Глутамін-залежні аспарагінсинтетази рослин здатні також використовувати NH_4^+ замість глутаміну, хоча спорідненість їх до NH_4^+ значно нижча (K'_m = 2,1 – 3,1 мМ) [183], [184], [185], [186]. Крім того, NH_4^+ модулює експресію

[177] Enzyme activities in nitrogen metabolism of winter wheat and its grain quality under different environmental conditions / C. Zhao, N. Jiao, T. Ning [et al.] // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2006. – V. 17, N 10. – P. 1866 – 1870.

[178] Ткачук К. С. Адаптація рослин до зміни умов азотного живлення / К. С. Ткачук // Физиология и биохимия культ. растений. – 1997. – Т. 29, № 1. – С. 3 – 13.

[179] Glutamine transport and feedback regulation of nitrate reductase activity in barley roots leads to changes in cytosolic nitrate pools / X. Fan, R. Gordon-Weeks, Q. Shen, A. J. Miller // J. Exp. Bot. – 2006. – V. 57, N 6. – P. 1333 – 1340.

[180] Zhang H. Signalling mechanisms underlying the morphological responses of the root system to nitrogen in *Arabidopsis thaliana* / H. Zhang, H. Rong, D. Pilbeam // J. Exp. Bot. – 2007. – V. 58, N 9. – P. 2329 – 2338.

[181] McCormack D. Purification and properties of glutamine synthetase from the plant cytosol fraction of lupin nodules / D. McCormack, K. J. F. Farnden, M. J. Boland // Arch. Biochem. Biophys. – 1982. – V. 218, pt. 2. – P. 561 – 571.

[182] Structure-function relationships of glutamine synthetases / D. Eisenberg, H. S. Gill, G. M. Pfluegl, S. H. Rotstein // Biochim. Biophys. Acta. – 2000. – V. 1477, N 1/2. – P. 122 – 145.

[183] Lea P. J. Transport and metabolism of asparagine and other nitrogen compounds within the plant / P. J. Lea, B. J. Miflin // The Biochemistry of Plants. – N. Y. : Academic Press, 1980. – V. 5. – P. 569 – 607.

[184] Milman H. A. Studies on the mechanism of the glutamate-dependent reaction catalysed by asparagine synthetase from mouse pancreas / H. A. Milman, D. A. Cooney, C. Y. Huang // J. Biol. Chem. – 1980. – V. 255, N 5. – P. 1862 – 1866.

генів глутамін-залежних аспарагінсинтетаз [187]. У зв'язку з цим припускають, що глутамін-залежні аспарагінсинтетази можуть бути безпосередньо задіяні у метаболізмі NH_4^+, особливо за умов підвищення вмісту NH_4^+ у тканинах рослин [188]. Отримані вагомі докази [189], [190], що аміди дикарбонових амінокислот (глутамін, аспарагін), які утворюються за участю цих ферментних систем, є основною формою первинної акумуляції і транспортування органічного азоту в рослинному організмі.

У вегетаційних дослідах, а також методами водних культур встановлено, що рівень активності нітратредуктази та ферментів асиміляції амонійного азоту (глутамінсинтетази, аспарагінсинтетази) в органах рослин, зокрема в листках, залежить від вмісту нітратів, амонію та інших елементів живлення у поживному середовищі [191]. Отримано ряд доказів про участь у цій регуляції інших сполук азотного метаболізму, зокрема амінокислот та їх амідів – глутаміну та аспарагіну [192], [193]. Важливе місце у регуляції активності ферментів асиміляції нітратного і амонійного азоту у тканинах рослин відводиться факторам навколишнього середовища, зокрема освітленості [194], [195] та процесам фотосинтезу [196], [197], [198], [199]. Тим не

[185] Mutagenesis and chemical rescue indicate residues involved in β-aspartyl-AMP formation by Escerichia coli asparagine synthetase B / S. K. Boehlein, E. S. Walworth, N. G. J. Richards, S. M. Schuster // J. Biol. Chem. – 1997. – V. 272, N 19. – P. 12384 – 12392.

[186] Topographical separation of the catalytic sites of asparagine synthetase explored with monoclonal antibodies / N. E. Pfeiffer, P. M. Mehlhaff, D. E. Wylie, S. M. Schuster // J. Biol. Chem. – 1987. – V. 262, N 24. – P. 11565 – 11570.

[187] Metabolic regulation of asparagine synthetase gene expression in maize (Zea mays L.) root tips / C. Chevalier, E. Bourgeois, D. Just, P. Raymond // Plant J. – 1996. – V. 9, N 1. – P. 1 – 11.

[188] Herrera-Rodríguez M. B. Expression of asparagine synthetase genes in sunflower (Helianthus annuus) under various environmental stresses / M. B. Herrera-Rodriguez, R. Perez-Vicente, J. M. Maldonado // Plant Physiol. Biochem. – 2007. – V. 45, N 1. – P. 33 – 38.

[189] Free amino acids in botanicals and botanical preparations / B. Carratù, C. Boniglia, S. Giammarioli [et al.] // J. Food Sci. – 2008. – V. 73, N 5. – P. 323 – 328.

[190] Lehmann T. The pivotal role of glutamate dehydrogenase (GDH) in the mobilization of N and C from storage material to asparagine in germinating seeds of yellow lupine / T. Lehmann, L. Ratajczak // J Plant Physiol. – 2008. – V. 165, N 2. – P. 149 – 158.

[191] Interaction of sulfate assimilation with carbon and nitrogen metabolism in Lemna minor / S. Kopriva, M. Suter, P. von Ballmoos [et al.] // Plant Physiol. – 2002. – V. 130, N 3. – P. 1406 – 1413.

[192] Campbell W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology / W. H. Campbell // Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol. – 1999. – V. 50, N 1. – P. 277 – 303.

[193] Exogenous supply of glutamine and active cytokinin to the roots reduces NO_3^- uptake rates in poplar / P. Dluzniewska, A. Gessler, S. Kopriva [et al.] // Plant. Cell. Environ. – 2006. – V. 29, N 7. – P. 1284 – 1297.

[194] Expression analysis of a cytosolic glutamine synthetase gene in cotyledons of Scot pine seedlings: developmental, light regulation and spatial distribution of specific transcripts / F. R. Canton, M. F. Suarez, M. Jose-Estanyol, F. M. Canovas // Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 40, N 4. – P. 623 – 634.

менше, дані про значення цих факторів у регуляції активності ферментів асиміляції нітратного і амонійного азоту (нітратредуктаза, глутамінсинтетази, аспарагінсинтетази) культурними рослинами, в тому числі озимою пшеницею, за природних умов вегетації на ґрунтах з різними умовами живлення практично відсутні. Це суттєво обмежує можливості оптимізації умов живлення і вирощування цих культур на ґрунтах з різними хімічними характеристиками. Особливий інтерес у цьому плані становлять сірі та ясно-сірі лісові ґрунти Західного Лісостепу України з низьким рівнем природної родючості, підвищеною кислотністю ґрунтового розчину та з високою концентрацією рухомих форм алюмінію і важкорозчинних фосфатів [200]. Тому аналіз спрямованості адаптивних реакцій ферментних систем асиміляції азоту рослинами озимої пшениці за таких умов є необхідною передумовою розробки систем оптимізації умов живлення і вирощування цих культур на ґрунтах з різними хімічними характеристиками. Це, власне, стало основною підставою для проведення досліджень за темою даної роботи.

Основні дослідження було проведено на верхніх листках озимої пшениці в умовах довготривалого стаціонарного досліду на трьох групах дослідних ділянок (варіанти) з контрастними режимами живлення, які склались у процесі систематичного застосування різних доз органічних і мінеральних добрив та вапнування у традиційній плодозмінній сівозміні, а саме: оптимальний поживний режим ґрунту (pH_{KCl} 5,36), кислий поживний режим ґрунту з низьким вмістом

[195] Virus-induced gene silencing of 14-3-3 genes abrogates dark repression of nitrate reductase activity in Nicotiana benthamiana / T. Hirano, A. Ito, T. Berberich [et al.] // Mol. Genet. Genomics. – 2007. – V. 278, N 2. – P. 125 – 133.

[196] Expression analysis of a cytosolic glutamine synthetase gene in cotyledons of Scot pine seedlings: developmental, light regulation and spatial distribution of specific transcripts / F. R. Canton, M. F. Suarez, M. Jose-Estanyol, F. M. Canovas // Plant Mol. Biol. – 1999. – V. 40, N 4. – P. 623 – 634.

[197] In vivo regulation of glutamine synthetase activity in the marine chlorophyll b-containing cyanobacterium Prochlorococcus sp. strain PCC 9511 (Oxyphotobacteria) / S. El Alaoui, J. Diez, L. Humanes [et al.] // Appl. Env. Microbiol. – 2001. – V. 67, N 5. – P. 2202 – 2207.

[198] Palatnik J. F. The role of photosynthetic electron transport in the oxidative degradation of chloroplastic glutamine synthetase / J. F. Palatnik, N. Carrillo, E. M. Valle // Plant Physiol. – 1999. – V. 121, N 2. – P. 471 – 478.

[199] The rate of CO_2 assimilation controls the expression and activity of glutamine synthetase through sugar formation in sunflower (Helianthus annuus L.) leaves / B. Larios, E. Agüera, P. Cabello [et al.] // J. Exp. Bot. – 2004. – V. 55, N 394. – P. 69 – 75.

[200] Андрущенко Г. О. Ґрунти західних областей УРСР/ Андрущенко Г. О. – Львів – Дубляни : Вільна Україна, 1970. – 186 с.

елементів живлення (pH_{KCl} 4,05) та сильно кислий поживний режим ґрунту з достатнім вмістом основних елементів живлення (pH_{KCl} 3,70). Було з'ясовано, що рослини озимої пшениці у варіантах з оптимальним (варіант 1) і несприятливими (варіанти 2 і 3) умовами ґрунтового живлення суттєво розрізняються за біологічною продуктивністю, врожайністю та якістю зерна. У зв'язку з цим зазначені варіанти виявились досить зручним об'єктом для аналізу адаптивних метаболічних реакцій засвоєння азоту рослинами на ґрунтах з різними умовами живлення. Необхідно також зазначити, що такі умови ґрунтового живлення рослин можуть формуватись в умовах природних агробіоценозів. Тому аналіз особливостей асиміляції азоту рослинами за таких умов має важливе науково-практичне значення з точки зору розробки заходів, спрямованих на покращення асиміляції азоту рослинами за різного стану їх живлення.

Дослідженнями, проведеними нами, встановлено [201], що найбільш високий рівень активності нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці спостерігається у варіанті з оптимальними умовами ґрунтового живлення. Зокрема, у 2003 році активність цього ферменту у фазі трубкування озимої пшениці становила у варіантах 2 і 3 з несприятливими умовами живлення відповідно 39,2 і 46,7 % від рівня активності цього ферменту у листках пшениці за оптимальних умов живлення. Подібне співвідношення активності нітратредуктази у листках озимої пшениці у досліджуваних варіантах, за результатами наших досліджень, спостерігалось також у 2004 – 2005 роках. При цьому на ґрунтах зі сприятливими умовами живлення рослин динаміка нітратредуктазної активності у листках озимої пшениці описується параболічною залежністю з максимумом у фазах трубкування і колосіння, що співпадає з періодами найбільш інтенсивного росту і збільшення вегетативної маси рослини. Подібна залежність була отримана й іншими авторами. Характерно, що така динаміка активності зазначеного ферменту не суттєво залежить від вмісту нітратів і амонію в листках рослини і позитивно корелює із

[201] Дубицький О. Л. Зміна активності нітратредуктази в листках озимої пшениці залежно від поживного режиму ґрунту / О. Л. Дубицький, Г.Й. Сеньків, К. С. Ткачук // Фізіол. і біохім. культ. рослин. – 2006. – Т. 38, № 4. – С. 331 – 338.

сумарним вмістом у них хлорофілу. Найбільш вірогідно, що за оптимальних умов ґрунтового живлення рослин саме фотосинтетичні процеси можуть виступати основним чинником, який визначає активність нітратредуктази та засвоєння азоту рослинами. Про наявність зв'язку між відновленням нітратів і фотосинтезом свідчить стимулюючий вплив освітлення на процеси відновлення нітратів до нітритів [202], [203] та факт фотосинтетичного відновлення нітритів до аміаку за участю нітритредуктази хлоропластів [204], [205].

На ґрунтах з несприятливими умовами живлення параболічна динаміка активності нітратредуктази листків в онтогенезі пшениці практично повністю нівелюється і набуває вигляду слабо вираженої гіперболічної залежності з порівняно невеликим збільшенням активності нітратредуктази в ході вегетації рослин. За таких умов динаміка активності нітратредуктази верхніх листків в онтогенезі пшениці не суттєво залежить від сумарного вмісту в них хлорофілу і значною мірою корелює із вмістом у листках нітратів і амонію. При цьому у варіанті 2, з низьким вмістом нітратів у ґрунті (0,28 мг/100 г ґрунту) і в листках рослини (3,76 – 9,83 мг/100 г сирої речовини), між вмістом нітратів і активністю нітратредуктази у листках в онтогенезі озимої пшениці спостерігається позитивна кореляція (r = +0,70). У варіанті 3, з високим вмістом нітратів у ґрунті (0,87 мг/100 г ґрунту) і в листках (22,18 – 16,71 мг/100 г сирої речовини), кореляція між цими параметрами має негативну спрямованість (r = -0,75). Отримані нами результати щодо стимуляції і інгібування нітратами активності нітратредуктази у листках озимої пшениці залежно від їхнього вмісту у поживному середовищі в цілому узгоджуються з даними інших авторів [206], [207], [208]. Обидва варіанти з несприятливими умовами

[202] Steps towards an integrated view of nitrogen metabolism / M. Stitt, C. Müller, P. Matt [et al.] // J. Exp. Bot. – 2002. – V. 53, N 370. – P. 959 – 970.

[203] Sucrose mimics the light induction of Arabidopsis nitrate reductase gene transcription / C. L. Cheng, G. N. Acedo, M. Cristinsin, M. A. Conkling // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1992. – V. 89, N 5. – P. 1861 – 1864.

[204] Altered photosynthetic electron channelling into cyclic electron flow and nitrite assimilation in a mutant of ferredoxine : NADP(H) reductase. / G. T. Hanke, T. Endo, F. Satoh, T. Hase // Plant Cell. Environ. – 2008. – V. 31, N 7. – P. 1017 – 1028.

[205] Amino acids and nitrate as signals for the regulation of nitrogen acquisition / A. J. Miller, X. Fan, Q. Shen, S. J. Smith // J. Exp. Bot. – 2008. – V. 59, N 1. – P. 111 – 119.

[206] Ткачук К. С. Азотний обмін і адаптація рослин до умов живлення / К. С. Ткачук, Т. З. Богдан – К. : АВЕРС, 2000. – 200 с.

живлення характеризуються також негативною кореляцією між активністю нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці і вмістом у них амонію в ході вегетації (r = -0,87 – -0,90). Подібні результати у вегетаційних дослідах отримано і на інших рослинах. Вважають, що *in vivo* амоній може сприяти переходу активної, окисненої форми нітратредуктази у її неактивну, відновлену форму [209], [210] і, завдяки цьому, виступати негативним регулятором поглинання нітратів рослинами.

Отже, отримані нами результати засвідчують, що на активність нітратредуктази у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі регуляторний вплив здійснюють ряд факторів – нітрати, амоній а також потенційна потужність фотосинтетичного апарату рослини. Проте вплив перелічених факторів на активність цього ферменту значною мірою залежить від умов живлення і вегетації рослин. Так, за сприятливих умов живлення рослин вагоме місце в регуляції активності нітратредуктази у листках озимої пшениці посідають фотосинтетичні процеси, а вплив нітратів і амонію є мінімальним. За несприятливих умов живлення озимої пшениці активність нітратредуктази у листках цих рослин значною мірою залежить від вмісту нітратів і амонію у поживному середовищі та у листках цих рослин.

Аналіз активності ферментів асиміляції амонійного азоту у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі засвідчив [211], існування спряженої регуляції активності ферментів первинної асиміляції амонійного азоту – глутамін- і аспарагінсинтетаз. Характер такої регуляції залежить від умов живлення і рівня продуктивності рослин. За оптимальних умов живлення і розвитку рослин основним

---

[207] Poonnachit U. Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species / U. Poonnachit, R. Darnell // Ann. Bot. – 2004. – V. 93, N 2. – P. 399 – 405.

[208] Yang Z. A model for the circadian oscillations in expression and activity of nitrate reductase in higher plants / Z. Yang, D. J. Midmore // Ann. Bot. (Lond). – 2005. – V. 96, N 6. – P. 1019 – 1026.

[209] Nitrate-ammonium synergism in rice. A subcellular flux analysis / H. J. Kronzucker, M. Y. Siddiqi, A. D. M. Glass, G. J. D. Kirk // Plant Physiol. – 1999. – V. 119, N 3. – P. 1041 – 1045.

[210] Reda M. Structure and regulation of nitrate reductase / M. Reda, G. Kłobus, J. Buczek // Postepy Biochem. – 2000. – V. 46, N 1. – P. 99 – 106.

[211] Дубицький О. Л. Активність глутамін- і аспарагінсинтетази в листках при вирощуванні озимої пшениці в умовах стаціонарного досліду / О. Л. Дубицький, Г. Й. Ґабрієль, К. С. Ткачук // Фізіол. і біохім. культ. рослин. – 2006. – Т. 38, № 6. – С. 508 – 514.

механізмом асиміляції амонійного азоту в листках озимої пшениці є глутаматсинтазний цикл, ключове положення в якому займають глутамінсинтетази. Активність аспарагінсинтетаз в листках цих рослин за таких умов є низькою і в ході вегетації рослин реципрокно змінюється відносно рівня активності глутамінсинтетаз. Відносний внесок їх в асиміляцію амонійного азоту відчутно збільшується на кінцевих етапах вегетації рослин, що узгоджується з уявленнями про важливу роль аспарагіну, як транспортної форми органічного азоту на кінцевих етапах вегетації зернових культур [212]. Несприятливі умови живлення різного ґенезу (варіанти 2 і 3) і пригнічення розвитку рослин супроводжуються зниженням активності глутамінсинтетаз і значним приростом активності аспарагінсинтетаз у верхніх листках. При цьому в ході вегетації рослин спостерігається односпрямоване збільшення активності обох ферментів із переважанням приросту активності аспарагінсинтетаз. Такі зміни у співвідношенні активності досліджуваних ферментів слід, очевидно, розглядати як механізм метаболічної адаптації рослин до несприятливих умов вегетації рослин.

Водночас необхідно зазначити, що механізми спряженої регуляції активності глутамінсинтетаз і аспарагінсинтетаз в листках рослин озимої пшениці залишаються не з'ясованими. У дослідах на паростках різушки Таля продемонстровано, що експресія генів аспарагінсинтетази і хлоропластної глутамінсинтетази реципрокно регулюється рівнем освітленості та вуглецевими метаболітами (сахароза, 2-оксоглутарат, амінокислоти) [213], [214]. Це передбачає, що рівень активності досліджуваних ферментів у листках рослин значною мірою може визначатись інтенсивністю фотосинтетичних процесів у клітині. Експресія гена цитозольної глутамінсинтетази підвищується також під час старіння прапорцевих листків озимої

[212] Amino acid metabolism in maize earshoots. Implications for assimilate preconditioning and nitrogen signaling / J. R. Seebauer, S. P. Moose, B. J. Fabbri [et al.] // Plant Physiol. – 2004. – V. 136, N 4. – P. 4326 – 4334.

[213] Ikeda A. Regulation of carbon source partitioning in plants: all about regulation in response to internal ratio of C and N / A. Ikeda, Y. Sonoda, J. Yamaguchi // Tanpakushitsu Kakusan Koso. – 2003. – V. 48, N 15 (Suppl). – P. 2103 – 2112.

[214] Lam H.–M. Metabolic regulation of the gene encoding glutamine-dependent asparagine synthetase in Arabidopsis thaliana / H.–M. Lam, S. S.–Y. Peng, G. M. Coruzzi // Plant Physiol. – 1994. – V. 106, N 4. – P. 1347 – 1357.

пшениці [215]. Активність та експресія генів глутамін-залежних аспарагінсинтетаз листків деяких видів рослин репресується світлом та низьким вмістом сахарози [216], [217], [218]. Разом з тим, активність і експресія гена глутамін-незалежної аспарагінсинтетази у листках різушки Таля підвищуються за несприятливих умов вегетації, зокрема за холодового стресу та нагромадження в рослині вільних форм NH_4^+ [219]. Результати цих досліджень дозволяють припустити, що спряжена регуляція активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці в значній мірі визначається особливостями метаболічних, зокрема фотосинтетичних, процесів в цих органах за різних умов живлення та вегетації. Тим не менше, метаболічні фактори, які можуть відігравати ключову роль у спряженій регуляції рівня активності досліджуваних ферментів у листках озимої пшениці за різних умов живлення і вегетації рослин залишаються не з'ясованими. У зв'язку з цим, у даній роботі ми проаналізували залежність активності досліджуваних ферментів у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі від вмісту у них іонів амонію, амінного азоту, глутамату, аспартату та їх амідів (глутамін, аспарагін), а також від потенційної активності їх фотосинтетичного апарату.

Отримані нами результати засвідчили [220], що залежність активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у верхніх листках озимої пшениці від вмісту в них амонію у ході вегетації цих рослин на досліджуваних варіантах характеризується переважно від'ємними корелятивними зв'язками. Отже, іони амонію навряд чи можуть бути задіяні в процесах індукції синтезу або активації зазначених

[215] Changes in the cellular and subcellular localization of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase during flag leaf senescence in wheat (Triticum aestivum L.) / T. Kichey, J. Le gouis, B. Songwan, [et al.] // Plant Cell Physiol. – 2005. – V. 46, N 6. – P. 964 – 974.

[216] Molecular cloning and characterisation of two genes encoding asparagine synthetase in barley (Hordeum vulgare L.) / M. G. Müller, C. Taylor, S. K. Rasmussen, P. B. Holm // Biochim. Biophys. Acta. – 2003. – V. 28, N 1628 (2). – P. 123 – 132.

[217] The sucrose regulated transcription factor bZIP11 affects amino acid metabolism by regulating the expression of asparagines synthetase 1 and proline dehydrogenase 2 / J. Hanson, M. Hanssen, A. Wiese [et al.] // Plant J. – 2008. – V. 53, N 6. – P. 935 – 949.

[218] Transient accumulation of a sparagine in sycamore cells after a long period of sucrose starvation / P. Genix, R. Bligny, J.–B. Martin, R. Douce // Plant Physiol. – 1990. – V. 94, N 2. – P. 717 – 722.

[219] Correlation of ASN2 gene expression with ammonium metabolism in Arabidopsis / H. – K. Wong, H. – K. Chan, G. M. Coruzzi, H. – M. Lam // Plant Physiol. – 2004. – V. 134, N 1. – P. 332 – 338.

[220] Дубицький О. Зміни активності глутамінсинтетази листків в онтогенезі озимої пшениці залежно від умов живлення / О. Дубицький, Г. Ґабрієль // Вісник Львів. ун-ту. – Сер. біол. – 2006.– Вип.42. – С. 128 – 132.

ферментів в онтогенезі рослин озимої пшениці. Потенційно вони можуть функціонувати лише як негативні регулятори рівня активності цих ферментів. Разом з тим, активність глутамін- і аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці в онтогенезі позитивно корелює із вмістом у них амінного азоту. У варіанті з оптимальними умовами живлення активність досліджуваних ферментів у ході вегетації рослин також позитивно корелює (r= +0,84 – +0,90, $P < 0,05$)) з вмістом субстратів цих ферментів (глутамат, аспартат). У варіантах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3) кореляційний зв'язок між вмістом глутамату і активністю глутамінсинтетаз в онтогенезі рослин є низьким. Разом з тим між вмістом аспартату і активністю аспарагінсинтетаз у листках пшениці в ході вегетації простежується досить тісна позитивна кореляція (+0,74 – +0,92, $P < 0,05$). Ці результати засвідчують, що за несприятливих умов ґрунтового живлення озимої пшениці, які супроводжуються пригніченням глутаматсинтазного шляху асиміляції аміаку (варіанти 2, 3), асиміляція його в онтогенезі рослин активується в основному посиленням синтезу аспарагіну та збільшенням активності аспарагінсинтетаз. Нами виявлена також досить тісна від'ємна кореляція ($r = -0,89 – -0,99$, $P < 0,01 – 0,001$) між активністю глутамін- і аспарагінсинтетаз і сумарним вмістом амідів – глутаміну і аспарагіну в листках озимої пшениці у ході вегетації у варіантах з несприятливими умовами живлення (варіанти 2 і 3). Це свідчить, що вміст цих амідів у верхніх листках рослин озимої пшениці в онтогенезі може бути одним із важливих факторів регуляції активності глутамін- і аспарагінсинтетаз продуктами ферментативної реакції за принципом негативного зворотного зв'язку. Разом з тим, у варіанті з оптимальним режимом живлення озимої пшениці (варіант 1), кореляційних зв'язків між активністю глутамін- і аспарагінсинтетаз та сумарним вмістом глутаміну і аспарагіну не виявлено. На нашу думку це може бути зумовлене низьким вмістом амідів глутамату і аспартату у листках цих рослин внаслідок інтенсивного відтікання їх у атрагуючі органи в ході вегетації. Таким чином, видається досить вірогідним, що саме пул

вільних амінокислот може виступати одним із вагомих чинників спряженої регуляції активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці в ході вегетації на ґрунтах з різними умовами живлення.

Співставлення активності глутамінсинтетаз і сумарного вмісту хлорофілу у верхніх листках озимої пшениці засвідчило наявність позитивної кореляції між цими показниками лише у варіанті зі сприятливими умовами ґрунтового живлення (варіант 1, r = +0,77). У рослин, які росли на ґрунтах з несприятливими умовами ґрунтового живлення (кислі ґрунти (pH_{KCl} 4,02) з низьким вмістом основних елементів живлення або сильно кислі ґрунти (pH_{KCl} 3,70) з достатньо високим вмістом основних елементів живлення), між цими показниками відмічено негативний кореляційний зв'язок (варіант 2 і 3, r = -0,73 – -0,77). Негативна кореляція виявлена також між сумарним вмістом хлорофілу і активністю аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці у всіх дослідних варіантах. Тому видається досить вірогідним, що за умов оптимального живлення і розвитку рослин, збільшення активності глутамінсинтетаз в ході онтогенезу пов'язане, в основному, з хлоропластною ізоформою цього ферменту. Це, очевидно, супроводжується реципрокним зменшенням активності аспарагінсинтетаз, які локалізуються переважно у цитозольній фракції клітин [221], [222]. Несприятливі умови живлення і розвитку рослин у варіантах 2 і 3, які, як свідчать результати наших досліджень, характеризуються швидшою деградацією хлорофілу, а отже хлоропластів, призводять до зниження активності хлоропластної глутамінсинтетази в ході вегетації рослин. За таких умов адаптивне посилення асиміляції амонійного азоту у листках рослин може відбуватися за рахунок активації синтезу цитозольних форм глутамін- і аспарагінсинтетаз. Особливо важливу роль за умов зниження інтенсивності фотосинтезу і, як наслідок, обмеженого вуглецевого живлення займає, очевидно, синтез аспарагіну. Це зумовлено

[221] Ammonium assimilation and amino acid metabolism in conifers / F. M. Cánovas, C. Avila, F. R. Cantón [et al.]. // J. Exp. Bot. – 2007. – V. 58, N 9. – P. 2307 – 2318.

[222] Xu Z. Research advance in nitrogen metabolism of plant and its environmental regulation / Z. Xu, G. Zhou // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2004. – V. 15, N 3. – P. 511 – 516.

відносною біологічною інертністю цього аміду та низьким співвідношенням C/N (2,0) порівняно з глутаміном, у якого це співвідношення є вищим (2,5) [223], [224]. Таким чином, активність глутамін- та аспарагінсинтетаз у верхніх листках озимої пшениці в онтогенезі на ґрунтах з різними умовами живлення залежить також від інтенсивності фотосинтетичних процесів у хлоропластах.

Тісні корелятивні зв'язки, виявлені нами між сумарним вмістом хлорофілу та активністю ключових ферментів асиміляції нітратного і амонійного азоту у верхніх листках пшениці, стали підставою для більш детального аналізу динаміки фотохімічної активності хлоропластів, вмісту хлорофілу і цукрів у цих листках озимої пшениці в ході вегетації на ґрунтах з різними умовами ґрунтового живлення. Проведеними дослідженнями встановлено [225], що несприятливі умови ґрунтового живлення різного походження (кислі ґрунти (pH_{KCl} 4,02) з низьким вмістом основних елементів живлення або сильно кислі ґрунти (pH_{KCl} 3,70) з достатньо високим вмістом основних елементів живлення) призводять, перш за все, до пришвидшеної деградації хлорофілу у листках рослин у ході вегетації порівняно з рослинами, які росли на ґрунтах з оптимальними умовами живлення. Разом з тим це не супроводжується суттєвими змінами співвідношення хлорофілів *a* і *b* і, отже, значними перебудовами фотоантенних систем хлоропластів рослин пшениці.

Хлоропласти, ізольовані з верхніх листків рослин озимої пшениці, вирощених на ґрунтах з різними умовами живлення, відрізнялися також за функціонально-біохімічними властивостями. Зокрема, проведеними дослідженнями виявлено, що несприятливі умови живлення рослин озимої пшениці різного ґенезу призводять до зниження базальної і ADP-стимульованої фотохімічної активності ізольованих хлоропластів листків озимої пшениці в онтогенезі на 20 – 30 %, порівняно з хлоропластами рослин, які росли на ґрунті з

[223] Amino acid metabolism in maize earshoots. Implications for assimilate preconditioning and nitrogen signaling / J. R. Seebauer, S. P. Moose, B. J. Fabbri [et al.] // Plant Physiol. – 2004. – V. 136, N 4. – P. 4326 – 4334.

[224] Use of Arabidopsis mutants and genes to study amide amino acid biosynthesis / H.–M. Lam, K. Coschigano, C. Schultz [et al.] // Plant Cell. – 1995. – V. 7, N 7. – P. 887 – 898.

[225] Дубицький О. Фотохімічна активність хлоропластів листків озимої пшениці за різних умов живлення / О. Дубицький, Г. Габрієль, К. Ткачук // Вісник Львів. ун-ту. – Сер. біол. – 2007.– Вип.43. – С. 233 – 240.

оптимальними умовами живлення. Хлоропласти рослин у варіантах з несприятливим режимом живлення характеризувалися також низькими рівнями діафоразної активності фередоксин-НАДФ-оксидоредуктази, особливо на кінцевих етапах вегетації. Отримані результати засвідчують, що несприятливі умови живлення рослин озимої пшениці призводять до зниження відновлювальної і фотофосфорилювальної здатності хлоропластів у онтогенезі рослин. Цілком вірогідно, що пригнічення відновлювальної здатності хлоропластів за несприятливих умов живлення може призводити до сповільнення процесів акцептування електронів елекрон-транспортним ланцюгом від молекул хлорофілу. В свою чергу, збільшення часу перебування хлорофілу у високоенергетичному стані може бути одним із провідних факторів пришвидшеної деструкції хлорофіл-білкових комплексів фотоантенних систем хлоропластів рослин, які росли на ґрунті з несприятливими умовами живлення, та зниження їх потенційної фотосинтетичної активності.

Проведеними нами дослідженнями встановлено, що динаміка вмісту фотоасимілятів, зокрема цукрів (сахароза, фруктоза, глюкоза), у листках озимої пшениці в онтогенезі характеризується зворотною спрямованістю, порівняно з фотохімічною активністю хлоропластів. Так, вміст цих фотоасимілятів у листках озимої пшениці у всіх дослідних варіантах виявився найвищим у фазі кущіння і досить різко знижувався під час трубкування і колосіння рослин. Це відповідає найбільш високому рівню фотохімічної активності хлоропластів цих рослин. Характер реципрокних змін фотохімічної активності хлоропластів та вмісту цукрів у ході вегетації озимої пшениці залежить також від умов живлення. За несприятливих умов живлення (варіанти 2 і 3) рівень сахарози у листках цих рослин є суттєво вищим, а фотохімічна активність хлоропластів – нижча, ніж у варіанті з оптимальними умовами живлення (варіант 1). Така взаємообернена динаміка фотохімічної активності хлоропластів та вмісту цукрів, особливо сахарози, у листках рослин озимої пшениці в онтогенезі досить добре узгоджуються з уявленнями щодо регуляції фотосинтетичної активності хлоропластів шляхом репресії-дерепресії

генів білків фотосинтетичного апарату вуглецевими метаболітами клітини, зокрема цукрами [226], [227], [228], [229]. Очевидно, що збільшення інтенсивності фотохімічної активності хлоропластів листків озимої пшениці у періоди інтенсивного росту і розвитку рослини (фази трубкування і колосіння) значною мірою визначається дерепресією генів білків фотосинтетичного апарату внаслідок посиленого відпливу цукрів з листків у атрагуючі органи рослини.

Методом однофакторного дисперсійного аналізу показано, що найбільш істотний вплив на відновлювальну і фотофосфорилювальну активність хлоропластів, який оцінювали за відносною силою впливу фактора (hx^2), розрахованого за методом Снедекора, здійснює сахароза (hx^2 = 33 – 53 %). Відносна сила впливу глюкози на фотохімічну активність хлоропластів виявилась значно меншою (hx^2 = 27,7 – 34,4 %). Відносна сила дії фруктози (hx^2) на фотохімічну активність хлоропластів у листках озимої пшениці виявилась найменш значимою. Певною мірою це узгоджується з даними ряду авторів про функціонування у клітинах рослин відносно незалежних сахарозо- і глюкозо-чутливих механізмів репресії генів фотосинтетичного апарату [230], [231].

Необхідно зазначити, що динаміка активності ключових ферментів асиміляції азоту (нітратредуктаза, глутамінсинтетази, аспарагінсинтетази) та вмісту цукрів (сахароза, фруктоза, глюкоза) у верхніх листках озимої пшениці у ході вегетації також мають переважно різноспрямований характер. Так, збільшення активності зазначених ферментів у період інтенсивного росту і розвитку озимої пшениці (фази трубкування і колосіння) супроводжувалося найбільш

[226] Global transcription profiling reveals multiple sugar signal transduction mechanisms in Arabidopsis / J. Price, A. Laxmi, S. K. St. Martin, J. – C. Jang // Plant Cell. – 2004. – V. 16, N 8. – P. 2128 – 2150.

[227] Photosynthesis, sugar and the regulation of gene expression / J. V. Pego, A. J. Kortstee, C. Huijser, C. M. Smeekens // J. Exp. Bot. – 2000. – V. 51, N 90001. – P. 407 – 416.

[228] Roles of cell-wall invertases and monosaccharide transporters in the growth and development of Arabidopsis / S. M. Sherson, H. L. Alford, S. M. Forbes [et al.] // J. Exp. Bot. – 2003. – V. 54, N 382. – P. 525 – 531.

[229] Rolland F. Sugar sensing and signaling in plants / F. Rolland, B. Moore, J. Sheen // Plant Cell. – 2002. – V. 14, N 90001. – P. 185 – 205.

[230] Anatomical and photosynthetic acclimation to the light environment in species with differing mechanisms of phloem loading / V. Amiard, K. E. Mueh, B. Demmig-Adams [et al.] // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 2005. – V. 102, N 36. – P. 12968 – 12973.

[231] Chiou T. J. Sucrose is a signal molecule in assimilate partitioning / T. J. Chiou, D. R. Bush // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1998. – V. 95, N 8. – P. 4784 – 4788.

значним зниженням вмісту цукрів у листках цих рослин у варіантах з різними умовами живлення. Ці результати не узгоджуються з даними ряду авторів про стимулюючий вплив цукрів, зокрема сахарози і глюкози, на активність нітратредуктази і глутамінсинтетаз та експресію генів цих ферментних білків у різушки Таля [232], [233], кукурудзи [234] та соняшника [235], [236] за умов інфільтрації цими цукрами паростків досліджуваних рослин або їхніх листкових пластинок. Очевидно, за природних умов вегетації рослин озимої пшениці стимулюючий вплив цукрів на активність і синтез ключових ферментів асиміляції азоту (нітратредуктаза, глутамінсинтетази, аспарагінсинтетази) у листках рослин не проявляється. Виходячи із отриманих нами даних, можна припустити, що цукри, швидше за все, діють як негативні регулятори активності деяких з цих ферментів, зокрема аспарагінсинтетаз. На користь цього твердження також свідчать дані про здатність сахарози пригнічувати активність аспарагінсинтетаз у коренях кукурудзи [237], у культурі клітин явора [238], у корінцях паростків томатів [239]. Сахароза також пригнічувала експресію гена аспарагінсинтетази (ASN1) у паростках різушки Таля [240], [241].

Таким чином, динаміка активності ключових ферментів асиміляції азоту (нітратредуктаза, глутамінсинтетази,

---

[232] Effect of glucose on assimilatory sulphate reduction in Arabidopsis thaliana roots / H. Hesse, N. Trachsel, M. Suter [et al.] // J. Exp. Bot. – 2003. – V. 54, N 388. – P. 1701 – 1709.

[233] Jonassen E. M. HY5 and HYH are positive regulators of nitrate reductase in seedlings and rosette stage plants / E. M. Jonassen, U. S. Lea, C. Lillo // Planta. – 2008. – V. 227, N 3. – P. 559 – 564.

[234] Sivasankar S. Regulation of the accumulation and reduction of nitrate by nitrogen and carbon metabolites in maize seedlings / S. Sivasankar, S. Rothstein, A. Oaks // Plant Physiol. – 1997. – V. 114, N 2. – P. 583 – 589.

[235] A short-term exposure of cucumber plants to rising atmospheric CO_2 increases leaf carbohydrate content and enhances nitrate reductase expression and activity / B. Larios, E. Agüera, P. de la Haba [et al.] // Planta. – 2001. – V. 212, N 2. – P. 305 – 312.

[236] The rate of CO_2 assimilation controls the expression and activity of glutamine synthetase through sugar formation in sunflower (Helianthus annuus L.) leaves / B. Larios, E. Agüera, P. Cabello [et al.] // J. Exp. Bot. – 2004. – V. 55, N 394. – P. 69 – 75.

[237] Metabolic regulation of asparagine synthetase gene expression in maize (Zea mays L.) root tips / C. Chevalier, E. Bourgeois, D. Just, P. Raymond // Plant J. – 1996. – V. 9, N 1. – P. 1 – 11.

[238] Transient accumulation of a sparagine in sycamore cells after a long period of sucrose starvation / P. Genix, R. Bligny, J.–B. Martin, R. Douce // Plant Physiol. – 1990. – V. 94, N 2. – P. 717 – 722.

[239] Physiological, biochemical and molecular analysis of sugar-starvation responses in tomato roots / C. Devaux, P. Baldet, J. Joubes [et al.] // J. Exp. Bot. – 2003. – V. 54, N 385. – P. 1143 – 1151.

[240] Lam H.–M. Metabolic regulation of the gene encoding glutamine-dependent asparagine synthetase in Arabidopsis thaliana / H.–M. Lam, S. S.–Y. Peng, G. M. Coruzzi // Plant Physiol. – 1994. – V. 106, N 4. – P. 1347 – 1357.

[241] Yang Z. A model for the circadian oscillations in expression and activity of nitrate reductase in higher plants / Z. Yang, D. J. Midmore // Ann. Bot. (Lond). – 2005. – V. 96, N 6. – P. 1019 – 1026.

аспарагінсинтетази) у листках озимої пшениці в онтогенезі характеризується закономірними змінами, характер яких у значній мірі залежить від умов ґрунтового живлення. Зміни у співвідношенні активності досліджуваних ферментів залежно від умов живлення слід, очевидно, розглядати як механізм метаболічної адаптації рослин до несприятливих умов вегетації. Проведеними дослідженнями виявлено, що активність нітратредуктази і глутамін- та аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці в онтогенезі регулюється в першу чергу факторами, що визначають ріст і розвиток рослин, в тому числі інтенсивністю метаболізму азотистих сполук, зокрема амонію, глутамату аспартату, та їх амідів, а також інтенсивністю фотосинтетичних процесів. Разом з тим, цукри за природних умов вегетації рослин не мають стимулюючого ефекту на активність ферментів асиміляції азоту. Виходячи із отриманих нами даних можна припустити, що цукри можуть виступати негативними регуляторами активності цих ферментів, зокрема аспарагінсинтетаз.

ВИСНОВКИ:

Активність нітратредуктази у листках озимої пшениці за оптимальних умов забезпечення поживними речовинами (достатній вміст елементів живлення, pH_{KCl} ґрунтового розчину – 5,36), високої інтенсивності наростання вегетативної маси, урожаю зерна і вмісту в ньому білка та клейковини у два – три рази перевищує активність цього фермента у рослин за несприятливих умов вирощування (підвищена кислотність ґрунтового розчину, pH_{KCl} 3,70 – 4,02 і низький, або достатній вміст елементів живлення). Вміст нітратів у листках рослин за оптимальних умов забезпечення поживними речовинами підтримується на низькому рівні.

Активність нітратредуктази у листках озимої пшениці за оптимальних умов забезпечення поживними речовинами досягає максимальних значень (296,42-300,28 нмоль NO_2^-/год·г сирої речовини) у фазах трубкування і колосіння, а протягом завершальних етапів розвитку рослин – поступово знижується. Такі зміни не залежать від вмісту нітратів й амонію в листках рослини і позитивно корелюють з вмістом у них хлорофілу. За несприятливих умов

забезпечення поживними речовинами найвищий рівень активності нітратредуктази в листках озимої пшениці (140,86 – 151,01 нмоль NO_2^-/год·г сирої речовини) виявлено на кінцевих фазах онтогенезу – цвітіння і молочної стиглості. За таких умов активність нітратредуктази в листках пшениці не залежить від вмісту в них хлорофілу і тісно корелює з вмістом у них нітратів і амонію.

За оптимальних умов живлення активність глутамінсинтетаз у листках озимої пшениці у 4,4-10,0 разів вища, ніж активність аспарагінсинтетаз. Активність аспарагінсинтетаз в листках рослин за таких умов складає 0,030-0,060 мкмоль β-аспартилгідроксамату/хв·мг білка екстракту тканин листків і протягом вегетації змінюється обернено до рівня активності глутамінсинтетаз. Несприятливі умови вегетації призводять до зменшення активності глутамінсинтетаз і значного підвищення активності аспарагінсинтетаз у листках пшениці від 0,039-0,046 (фаза кущіння) до 0,064-0,078 мкмоль β-аспартилгідроксамату/ хв·мг білка екстракту тканин листків (фаза молочної стиглості). Поряд з тим в ході розвитку рослин спостерігається зростання активності обох ферментів.

Активність глутамін- і аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці в онтогенезі за оптимальних умов забезпечення поживними речовинами позитивно корелює із вмістом у них глутамату і аспартату. За несприятливих умов забезпечення рослин поживними речовинами має місце прямо пропорційна залежність між активністю аспарагінсинтетаз, вмістом амінного азоту і аспартату.

Встановлено обернену пропорційну залежність між активністю глутамін- і аспарагінсинтетаз в листках озимої пшениці та вмістом у них амонію і амідів – глутаміну і аспарагіну протягом вегетації як за оптимальних, так і несприятливих умов забезпечення поживними речовинами.

Активність глутамінсинтетаз у листках озимої пшениці протягом вегетації за оптимальних умов забезпечення поживними речовинами позитивно корелює із вмістом у них хлорофілу. За несприятливих умов забезпечення рослин поживними речовинами між цими показниками такої кореляції не знайдено. Обернену

пропорційну залежність виявлено також між вмістом хлорофілу й активністю аспарагінсинтетаз листків. Це вказує на залежність активності глутамін- і аспарагінсинтетаз у листках озимої пшениці від інтенсивності функціонування фотосинтетичного апарату рослин.

Відновлювальна і фотофосфорилювальна активність хлоропластів знижуються за несприятливих умов забезпечення рослин поживними речовинами, що супроводжується пришвидшеною деградацією хлорофілу у листках озимої пшениці порівняно з рослинами, які ростуть на ґрунтах із сприятливими умовами забезпечення поживними речовинами.

У регуляції фотохімічної активності хлоропластів озимої пшениці у ході вегетації істотну роль відіграють цукри – сахароза, глюкоза і фруктоза. Відносна сила впливу цих цукрів на фотохімічну активність залежить від умов забезпечення рослин поживними речовинами. Відносна сила впливу сахарози на відновлювальну і фотофосфорилювальну здатність хлоропластів є досить вагомою і складає для різних досліджуваних варіантів від 33 до 53 %. Відносна сила впливу глюкози на зазначені параметри складає 28-34 % за оптимальних і 10-34 % за несприятливих умов забезпечення рослин поживними речовинами. За природних умов вегетації рослин ці цукри не мають стимулюючого ефекту на активність ферментів асиміляції азоту.

РОЗДІЛ 7

УПРАВЛІННЯ ЗАБУР'ЯНЕНІСТЮ ПОСІВІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР У КОРОТКОРОТАЦІЙНИХ СІВОЗМІНАХ

На сучасному етапі в Україні набувають розвитку декілька напрямків землеробства, які істотно відрізняються між собою за економічними, енергетичними, екологічними параметрами. Екологізація галузі землеробства обумовлює неминучу актуальність вивчення застосування в арсеналі проти бур'янів екологічно безпечних заходів, складових елементів системи землеробства, до яких належать збалансовані сівозміни, раціональний механічний обробіток ґрунту здатні знищити вегетуючі бур'яни і очистити ґрунт від їх насіннєвих та вегетативних зачатків [242].

Одним з пріоритетних напрямів у сучасному землеробстві, важливою умовою високоефективного екологічно-збалансованого ведення сільськогосподарського виробництва, стабілізації і подальшого збільшення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції є розробка наукових принципів оцінки, прогнозування й оптимального управління гербологічним станом посівів [243], [244].

Частково ця проблема розроблялась цілою низкою вітчизняних вчених (Іващенко О. О., Малієнко А.М., Гудзь В. П., Міщенко Ю. Г., Косолап М. П., Ворона Л. І., Безручко О. І., Кочик Г. М., Манько Ю. П., Маліборський І. І., Дерев'янський В. П.).

Але в умовах Західного регіону, в зонах достатнього та надлишкового зволоження, де існують певні ґрунтово-кліматичні особливості поширення, біопродукування бур'янів та накопичення їх насіннєвих запасів в агроценозах, комплексних досліджень з

[242] Іващенко О. О. Сучасні проблеми гербології. Вісник аграрної науки. 2004. № 3. С. 27–29.
[243] Корнійчук М. С. Моніторинг фітосанітарного стану польових культур в технологічних дослідах. Землеробство : міжвід. темат. наук. зб. 2017. Вип.1. С. 93–97.
[244] Іоніцой Ю., Шам І. Захист посівів від бур'янів: проблеми сьогодення. Пропозиція. 2014. № 10. С. 76-81.

вивчення шкідливої дії експрелентів при врахуванні конкурентних якостей самої культурної рослини, наявного видового складу, ступеня росту і розвитку сегеталів, їх біологічних властивостей, оцінки адаптивної здатності до мінливих умов екологічного середовища не проводилось. Тому надзвичайно важливим є успішне розв'язання цієї проблеми в системі екологічного землеробства. Воно знаходиться у площині комплексного системного вирішення через розробку багатофакторних підходів до управління забур'яненістю посівів та регулювання чисельністю бур'янів [245], [246].

Інтегрованим показником кількісних змін забур'яненості посівів і, одночасно, протибур'янової ефективності агротехнічних заходів є наявність насіння бур'янів в оброблюваному шарі ґрунту. На його накопичення впливає багато факторів, основними з яких є висока насиченість сівозмін одновидовими культурами, зокрема і зерновими, запровадження нераціональних систем обробітку ґрунту, незбалансованого удобрення, і звичайно, не виважене застосування гербіцидів, або повне нехтування останніми [247].

Звичайно, людство розробило і успішно здійснює для захисту посівів цілу систему агротехнічних (сівозміни, обробіток ґрунту, удобрення), хімічних (гербіциди) та біологічних заходів боротьби з бур'янами. Такий комплексний підхід дає змогу отримати врожаї культурних рослин, але не забезпечує повного розв'язання проблеми присутності їх в посівах.

Біологічні особливості бур'янів

Серед причин, що впливають на зниження врожаю сільськогосподарських культур і погіршення його якості. Значне місце займають бур'яни. Бур'янами називають усі ті рослини, які не мають цінності для людини. Всупереч бажанню людини вони ростуть на площах, занятих культурними рослинами, використовують вологу та поживні речовини, які знаходяться у ґрунті і погіршують умови

[245] Van Acker R. C. (2009) Weed biology serves practical weed management. Weed research, vol. 49. p. 1–5.

[246] Вавринович О. В. Качмар О. Й. Вплив систем удобрення і вапнування на потенційну забур'яненість ґрунту. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. 2014. № 18. С. 93–98.

[247] Методичні рекомендації і програма досліджень з обробітку ґрунту / А. М. Малієнко та ін. Чабани, 2008. 87 с.

вирощування цих рослин. Бур'янами можуть бути і культурні рослини формують якість урожаю й культурні рослини являються засмічувачами і з ними треба проводити боротьбу [248].

Агрономічної і практикою сільськогосподарського виробництва доведено, що ефективних наслідків у боротьбі з бур'янами можна досягти при розробці системи заходів для ліквідації забур'яненості, а це в свою чергу потребує глибокого вивчення видового складу бур'янів, їх біологічних властивостей та детального дослідження всього бур'янового травостою [249].

На відміну від культурних рослин бур'яни формують насіння в дуже великих кількостях, а коефіцієнт їх розмноження в сотні і тисячі разів перевищує продуктивність культурних рослин [250]. Наприклад дводольні види бур'янів в середньому утворюють більше насіння на одну рослину (100 тис. шт.) ніж однодольні (15-30 тис. шт.). Одна рослина лободи білої утворює понад 75тис. насінин, щириці звичайної – понад 120 тис. шт., мишію сизого близько 32 тис. шт. [251].

Якщо одна рослина пшениці може дати 50-100 насінин, кукурудзи 800 – 1500 зерняток, а гірчак березковидний – 11 тис. насінин, гірчиця польова – 25 тис., лобода біла – 100 тис., щириця – до 500 тис., дескуренія Софія – 730 тис. насінин.

Якщо б ці бур'яни попадали в ґрунт, дружньо проростали, боротьба з ними не давало б труднощів. І еволюція бур'янів відібрала би і закріпила б в поколінні ще одну протиотруту – виключно недружне проростання насіння.

Якщо посіяти лободу білу або щирицю, зійде всього лиш 1-2 % рослин. Насіння бур'янів зберігають схожість в ґрунті багато років. Гірчиця польова, яка попала в ґрунт 10 років назад, щириця зберігає схожість в ґрунті 44 роки, насіння донника – до 76 років. При таких умовах в ґрунті накопичують велику кількість насіння бур'янів, які

[248] Ларіонов Д. К., Макодзеба І. О. Бур'яни та боротьба з ними. Київ. Держсільгоспвидав УРСР, 1963. 240 с.

[249] Яворський О. Г., Веселовський І. В., Фісюнов О. В. Бур'яни і заходи боротьби з ними. Київ. Урожай, 1979. 192 с.

[250] Жеребко В. М. Напрями раціонального використання гербіцидів при захисті культурних рослин від забур'яненості. Матеріали наук.-теор. конф. Київ, 2004. С. 43–47.

[251] Іващенко О. О. Бур'яни в агрофітоценозах. Київ. Світ, 2001. 234 с.

разом з іншими діапазонами – зачатками нових рослин – підземними органами вегетативного розмноження складають потенційну забур'яненість ґрунту [252].

Насіння та плоди більшості бур'янів мають багато різних пристосувань для поглинання і перенесення (вітром, водою, тваринами тощо) по площі, що дуже утруднюють боротьбу з ними.

Причиною занесення нових бур'янів іноді буває людина. Багато бур'янів (понад 150 видів) було занесено в Європу американських птахів і з ними потрапило насіння канадської злинки. Тепер цей бур'ян поширився по всій Європі, Азії та Африці. Понад 100 років тому на Україну з Америки був завезений бур'ян – паразит – великонасінна повитиця, найбільш злісний бур'ян – паразит – великонасінна повитиця, найбільш злісний бур'ян конюшини, люцерни і деяких інших рослин [253].

Багато бур'янів найшкідливіших і на важче викоренених, крім насіння здатні розмножуватися ще й вегетативними органами: кореневищами, надземними стеблами, кореневищами.

Зазначені вище біологічні особливості сприяють підвищеній стійкості бур'янів до несприятливих умов, що утруднюють звільнення від них посівів культурних рослин.

За характером росту й розвитку способом розмноження та тривалістю життя всі бур'яни, що засмічують посіви сільськогосподарських культур, поділяють на малорічні і багаторічні та бур'яни-паразити.

Малорічні закінчують цикли свого розвитку протягом одного – двох років дають насіння лише один раз. Вони поділяють на ряд біологічних груп, найбільш характерні для західного Лісостепу: ефемери (зірочник середній, тонконіг однорічний), ранні (шпергель польовий, спориш звичайний, гірчак березковидний, гірчак почечуйний, гірчак розлогий, лобода біла, жабрій звичайний, редька дика, вівсюг звичайний, гірчиця польова, курячі очка польові, льонок

[252] Лазаускас П. М. Взаимосвязь между засоренностью и продуктивностью агрофитоценоза и земледелие. Засоренность и борьба с сорняками. Вильнюс, 1976. С. 66–77.
[253] Рубін С. С. Загальне землеробство. Київ. Вища школа, 1971. 528 с.

малий, молочай городній) і пізні ярі (мишій сизий, щириця звичайна, галінсога дрібноквіткова, куряче просо, сухоцвіт болотний), озимі (метлюг звичайний), зимуючі (вероніка плющелиста, фіалка польова, тририбернікнепахучий, підмаренник чіпкий, талабан польовий, грицики звичайні, волошка синя, мак самосійка, незабудка польова) та дворічні (будяк польовий, петрушка собача, кропива глуха).

Багаторічні живуть і розмножуються протягом кількох років. Вони найбільш шкідливі і їх важко знищувати. Розмножуються як насінням так і вегетативними органами, відповідно до способів розмноження поділяють на: кореневищні (мати-й-мачуха звичайна, пирій повзучий, хвощ польовий, м'ята польова, чистець болотній, ясколка польова), коренепаросткові (березка польова, льонок звичайний, осот рожевий, горошок мишачий, щавель горобинний), стрижнекориневі (кульбаба лікарська, кульбаба осіння, подорожник ланцетолистий), повзучі (жовтець повзучий, подорожник великий).

Паразитні бур'яни не мають коренів і зеленого листя, внаслідок чого втратили здатність до фотосинтезу, присмоктуються до інших рослин стебловими присосками (гаусторіями) і живляться за їх рахунок. Залежно від того, на якому органі паразитують, можуть бути стеблові (види повитиць) і кореневі (види вовчків).

Напівпаразитні бур'яни мають зелени листя, здатні до фотосинтезу, але частково живляться за рахунок інших рослин, присмоктуючись до їх коренів або надземних органів. Представниками цього типу є: кореневі напівпаразити - дзвінець великий, перстач польовий та інші; стеблові – види омел.

Видовий склад сегетальної рослинності за різними класифікаціями

Існує декілька класифікацій бур'янів, в основу яких покладено різні ознаки: за ступенем антропогенного відбору; за місцем переважної зустрічаємості, які безпосередньо не відповідають повній мірі вимогам виробництва. Найбільш практична класифікація, базується на виділенні груп бур'янів з близькою біологією розвитку, проти яких можна застосувати єдину систему агротехнічних заходів контролю. Для інформаційного задоволення вибору хімічних заходів

найкраще користуватися класифікацією бур'янових угрупувань по ботанічному класу, рослини якого переважають в бур'яновому угрупуванні.

Застосування цієї класифікації для формування інформаційної бази сегетальної рослинності в посівах пшениці озимої яка вирощується в короткоротаційних сівозмінах з різними попередниками в ґрунтово-кліматичних умовах західного Лісостепу, який відзначається надмірним зволоженням та великою різноманітністю видового складу бур'янів показано в таблиці 1, 2.

Таблиця 1

Бур'янова рослинність за різними класифікаціями в посівах пшениці озимої

№ п/п	Фото	Назва	Класифікація			
			Ботанічна		Біологічна	
			Клас	Родина	Підтип	Група
1		Зірочник середній, або мокрець (Stellaria media L.).	Дводольні	Гвоздикові	Малорічні	Ефемери
2		Гірчак березковидний (Polygonum convolvulus L.)	Дводольні	Гречкові	Малорічні	Ранні ярі
3		Гірчиця польова (Sinapis arvensis L.).	Дводольні	Капустові	Малорічні	Ранні ярі
4		Підмаренник чіпкий (Galium aparine L.).	Дводольні	Маренові	Малорічні	Зимуючі
5		Гірчак шорсткий (Polygonum scabrum Moench.).	Дводольні	Гречкові	Малорічні	Ранні ярі

6		Шпергель звичайний (Spergula vulgaris Boenn.).	Дводольні	Гвоздико-ві	Малорічні	Ранні ярі
7		Грицики звичайні (Capsella bursa pastoris L.)	Дводольні	Капустові	Малорічні	Зимуючі
8		Триреберник непахучий, (Tripleurospermum inodorum L.).	Дводольні	Айстрові	Малорічні	Зимуючі
9		Талабан польовий (Thlaspi arvense L.).	Дводольні	Капустові	Малорічні	Зимуючі
10		Жабрій звичайний (Galeopsis tetrahit L.)	Дводольні	Губоцвіті	Малорічні	Ранні ярі
11		Курячіочка польові (Anagallis arvensis L.)	Дводольні	Первоцвіті	Малорічні	Ранні ярі
12		Фіалка польова (Viola arvensis Murr.)	Дводольні	Фіалкові	Малорічні	Зимуючі
13		Вероніка плющолиста (Veronica hederifolia L.)	Дводольні	Ранникові	Малорічні	Зимуючі
14		Кропива глуха пурпурова (Lamium purpureum L.)	Дводольні	Губоцвіті	Малорічні	Дворічні
15		Горошок мишачий (Vicia cracca L.)	Дводоль-ні	Бобові	Багато-річні	Корене-вищні

16		Осот жовтий польовий (Sonchus arvensis L.).	Дводольні	Айстрові	Багаторічні	Кореневідпросткові
17		Подорожник великий (Plantago major L.).	Дводольні	Подорожникові	Багаторічні	Кореневимичкуваті
18		Чистець болотний (Stachys palustris L.)	Дводольні	Губоцвіті	Багаторічні	Кореневищні
19		Льонок звичайний (Linaria vulgaris Milk.)	Дводольні	Ранникові	Багаторічні	Кореневідпросткові
20		Перстач гусячий (Potentilla anserina L.)	Дводольні	Розові	Багаторічні	Повзучі
21		Тонконіг однорічний (Poa annua L.).	Однодольні	Злакові	Малорічні	Ефемери
22		Мишій сизий (Setaria glauca L., Setaria pumila).	Однодольні	Злакові	Малорічні	Пізні ярі
23		Плоскуха звичайна (Echinochloa crus-galli L.).	Однодольні	Злакові	Малорічні	Пізні ярі
24		Метлюг звичайний (Aperaspic aventi L.).	Однодольні	Злакові	Малорічні	Озимі
25		Пирій повзучий (Elytrigia repens L.).	Однодольні	Злакові	Багаторічні	Кореневишні

Таблиця 2

Бур'янова рослинність за різними класифікаціями, в посівах сої

№ п/п	Фото	Назва	Класифікація			
			Ботанічна		Біологічна	
			Клас	Родина	Підтип	Група
1		Зірочник середній, або мокрець (Stellaria media L.).	Дводольні	Гвозди-кові	Малорічні	Ефемери
2		Лобода біла (Chenopodium album L.).	Дводольні	Лободові	Малорічні	Ранні ярі
3		Гірчак шорсткий (Polygonum scabrum Moench.).	Дводольні	Гречкові	Малорічні	Ранні ярі
4		Спориш звичайний (Polygonum aviculare L.).	Дводольні	Гречкові	Малорічні	Ранні ярі
5		Щириця звичайна (Amaranthus retroflexus L.).	Дводольні	Щирицеві	Малорічні	Пізні ярі
6		Галінсога дрібноквіткова, (Galinsoga parviflora Cav.).	Дводольні	Айстрові	Малорічні	Пізні ярі
7		Шпергель звичайний (Spergula vulgaris Boenn.).	Дводоль-ні	Гвозди-кові	Малорічні	Ранні ярі
8		Грицики звичайні (Capsella bursapastoris L.)	Дводольні	Капустові	Малорічні	Зимуючі
9		Триреберникнепахучий, (Tripleurospermum inodorum L.).	Дводольні	Айстрові	Малорічні	Зимуючі

10		Талабан польовий (Thlaspiar vense L.).	Дводольні	Капустові	Малорічні	Зимуючі
11		Курячіочка польові (Anagallis arvensis L.)	Дводольні	Первоцвіті	Малорічні	Ранні ярі
12		Редька дика (Raphanus raphanistrum L.)	Дводольні	Капустові	Малорічні	Ранні ярі
13		Фіалка польова (Viola arvensis Murr.)	Дводольні	Фіалкові	Малорічні	Зимуючі
14		Вероніка плющолиста (Veronica hederifolia L.)	Дводольні	Ранникові	Малорічні	Зимуючі
15		Петрушка собача звичайна (Aethusa cynapium)	Дводольні	Селерові	Малорічні	Дворічні
16		Горошок мишачий (Vicia cracca L.)	Дводольні	Бобові	Багаторіч-ні	Корене-вищні
17		Березка польова (Convolvulus arvensis L.).	Дводольні	Березкові	Багаторіч-ні	Корене-паросткові
18		Осот жовтий польовий (Sonchus arvensis L.).	Дводольні	Айстрові	Багаторіч-ні	Корене-паросткові

19		Кульбаба лікарська (Taraxacum officinale).	Дводольні	Айстрові	Багаторіч-ні	Стрижне-кореневі
20		Подорожник ланцетолистий (Plantago lanceolata L.).	Дводольні	Подорож-никові	Багаторіч-ні	Стрижне-кореневі
21		Жовтець повзучий (Ranunculus repens L.).	Дводольні	Жовтицеві	Багаторіч-ні	Повзучі
22		Льонок звичайний (Linaria vulgaris Milk.)	Дводольні	Ранникові	Багаторіч-ні	Корене-парості-кові
23		Тонконіг однорічний (Poa annua L.).	Одно-дольні	Злакові	Малоріч-ні	Ефемери
24		Мишій сизий (Setaria glauca L., Setaria pumila).	Одно-дольні	Злакові	Малоріч-ні	Пізні ярі
25		Плоскуха звичайна (Echinochloa crus-galli L.).	Одно-дольні	Злакові	Малоріч-ні	Пізні ярі
26		Пирій повзучий (Elytrigia repens L.).	Одно-дольні	Злакові	Багаторіч-ні	Корене-вищні
27		Хвощ польовий (Equisetum arvense L.).	Хвощо-видні (спорові)	Хвощові	Багато-річні	Корене-вищні

Примітка: система удобрення: а – $N_{30}P_{45}K_{45}$; б – побічна продукція + $N_{15}P_{22}K_{22}$.

Фактори впливу на забур'яненість посівів

Проблема боротьби з бур'янами на буває особливої ваги в сучасних кризових умовах, коли не всі господарства мають можливість застосовувати агротехнічні заходи в основу в яких покладена біологічна особливість бур'янів.

При повторних посівах на одній і тій же площі в тих самих культур урожай знижується. Безміні посіви сприяють значному поширенню певних груп бур'янів, які добре пристосовуються до умов вирощування тих чи інших культур. Тому серед агротехнічних заходів найважливіше знання мають правильне чергування культур у сівозміні, своєчасний догляд за посівами.

При правильному чергуванні культур у сівозміні умови для бур'янів складаються по-різному. Серед озимих, багаторічних бобових трав, гречки, конопель бур'яни, як правило, пригнічуються дужче і в сприятливі роки їх тут значно менше, ніж серед ярих зернових, тому що ці культури інтенсивніше, ніж бур'яни, використовують велику надземну масу.

За сприятливих умов зволоження і достатнього забезпечення рослин поживними речовинами багато видів бур'янів глушиться також у посівах вівса та ячменю. Яра пшениця і горох хоч і дещо і поступається в цьому вівсу та ячменю, але посіви їх мають куди більшу стійкість проти забур'янення, ніж посіви льону, проса, люпину й особливо просапних [254].

Наявність серед польових культур рослин з неоднаковими біологічними особливостями, отже з різними вимогами до прийомів їх вирощування дає можливість здійснити диференційовану агротехніку в окремі періоди роки – обробіток в оптимальні строки під ярі культури, літній обробіток під озимину, заходи догляду за посівами просапних культур.

Обробіток ґрунту – основний, передпосівний чи під час догляду за посівами дає можливість затримувати або провокувати проростання бур'янів та знищувати їх сходи в най сприятливій для

[254] Бородань В. О., Скурятін Ю. М. Вплив польових сівозмін на забур'яненість посівів у Поліссі. Вісник аграрних наук. 2002. № 7. С. 35–38.

нього час. Крім того, обробіток ґрунту є основним засобом регулювання екологічних умов ґрунтового середовища – фізичних властивостей та біологічних процесів, від спрямованості яких у значній мірі залежить його родючість. Проте засміченість посівів і шкода, якої завдають бур'яни землеробству, залежить не лише від рівня агротехніки чи ефективності боротьби з бур'янами окремих заходів.

Все це дозволяє вести успішну боротьбу з бур'янами протягам усього вегетаційного періоду. Таким, чином, поява бур'янів і їх кількість у посівах є наслідком дії різних за своїм впливом факторів. Виходячи з цього, у боротьбі з бур'янами треба враховувати біологічні властивості культур та характер впливу їх на бур'яни залежно від місця в сівозміні, способів обробітку ґрунту і рівня забезпеченості посівів поживними речовинами. Поряд з цим сучасний рівень технологічного озброєння землеробства створює необхідні умови для значного підвищення ефективності агротехнічних заходів у боротьбі з бур'янами [255].

Потенційна забур'яненість ґрунту в короткоротаційних сівозмінах

Серед заходів, спрямованих на боротьбу з бур'янами, найбільш ефективними є такі, що спричиняють очищення ґрунту від насіння та органів вегетативного розмноження бур'янів.

Багатьма дослідниками засвідчена значна потенційна забур'яненість ріллі в сучасному землеробстві України. Залежно від культури господарювання вона в середньому становить від 100 до 400 і більше млн. шт./га фізично нормального насіння бур'янів в орному шарі. З піднесенням культури землеробства ця величина зменшується, але при стабільній системі землеробства їй властива консервативність. Слід мати на увазі, що посіви на полях з потенційною забур'яненістю орного шару близько 10 млн. т./га

[255] Stacked crop rotations exploit weed–weed competition for sustainable weed (2014) / Garrison A. et al. Weed Sci, vol. 62. p. 166–176.

фізично нормального насіння можна захистити від бур'янів сучасними агротехнічними методами [256], [257], [258].

Для оцінки протибур'янової ефективності систем основного обробітку ґрунту дуже важливо встановити особливості впливу на життєздатність насіння бур'янів їх просторового розміщення у ґрунті. Найбільше зниження потенційної забур'яненості полів її за 10 років відбулося саме у варіанті полицево-плоскорізного основного обробітку ґрунту у сівозміні – на 66 %. Наявне у ґрунту життєздатне насіння бур'янів реалізується у фактичній забур'яненості посівів. Найбільшою протибур'яновою ефективністю характеризуються варіанти основного обробітку ґрунту, у яких передбачено чергування оранки один раз на 4-5 років з безполицевими обробітками, плоскорізними чи чизельними знаряддями. Насіння бур'янів швидше втрачає життєздатність коли воно перебуває у ґрунті, а не на його поверхні. Через 4-5 років експозиції у ґрунті на глибині понад 10 см залишається 4-7 % початкової кількості життєздатного насіння, тоді як на поверхні ґрунту близько 50 % [259].

Основні причини забур'яненості складають перш за все у великих запасах життєздатного насіння і органів вегетативного розмноження бур'янів в ґрунті. За результатами багаточисленних запасів насіння бур'янів в орному шарі ґрунту змінюються від 50 млн. до 3-4 млрд. на 1 га. Крім того, в ньому міститься кілометри кореневищ і кореневих відрізків багаторічних бур'янів з мільйонами вегетативних органів поновлення.

Добре відомі і такі джерелом збільшення запасів насіння бур'янів в ґрунті, як погано очищене насіння з якими розповсюджується злісні бур'яни – вівсюг, гірчак повзучий, пирій повзучий і багато інші, а

[256] Манько Ю. П., Маліборський І. І. Ефективність систем основного обробітку ґрунту в зерно просапних сівозмінах. Вісник аграрної науки. 1996. № 7. С. 5–10.

[257] Chauhan B. S. (2020) Grand Challenges in Weed Management. Front. Agron, vol. 1 (3). p. 1–4.

[258] Шикітко В. Л., Сенько Г. І. Вплив системи обробітку ґрунту на забур'яненість і продуктивність сівозміни в умовах західного Лісостепу України. Землеробство. 1993. № 68. С. 68–78.

[259] Манько Ю. П., Маліборський І. І. Ефективність систем основного обробітку ґрунту в зерно просапних сівозмінах. Вісник аграрної науки. 1996. № 7. С. 5–10.

також внесення в ґрунт непідготовленого гною і особливо курячого польоту [260].

Істотне зростання потенційного забур'янення орного шару ґрунту на полях є значне розповсюдження в посівах багаторічних видів бур'янів.

При всій гостроті проблеми багаторічників на полях де вони становлять головну загрозу нашому землеробству. Головну небезпеку несуть у собі однорічні види, особливо дводольні. В основному види, які здатні формувати значну кількість насіння і створювати в ґрунті великі його запаси.

Істотними джерелами надходження насіння бур'янів в ґрунт є його осипанням з рослин, що закінчили свою вегетацію в посівах, внесення засміченого дефекату на поля, невчасне проведення лущення і оранки [261].

Збільшення забур'яненості здійснюють повторні посіви і насадження; застосування мінеральних добрив в більш високих дозах, стимулюючих проростання насіння бур'янів і їх розмноження [262].

Інтегрованим показником кількісних змін потенційної забур'яненості посівів і, одночасно, протибур'янової ефективності агротехнічних заходів є баланс насіння сегеталів в оброблюваному шарі за певний період.

В посівах кукурудзи на зелену масу (попередник пшениця озима) в середньому за роки найменший насіннєвий банк бур'янів 19,6–21,9 тис. шт./м^2 сформувався на варіантах органо-мінеральної системи удобрення (гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$) Найбільша кількість насіння сегеталів відмічена на варіантах без добрив (контроль) становила 23,2–23,0 тис. шт./м^2 (табл. 3).

Високий насіннєвий банк сегетальної рослинності в посівах пшениці озимої сформувався після попередника кукурудза на зелену масу. На варіантах традиційної системи удобрення цей показник був

[260] Assessing innovative sowing patterns for integrated weed management with a 3D crop: weed competition (2014) / Colbach N. et al. Eur. J. Agron, vol. 53. p. 74–89.

[261] Іващенко О. О., Кунак В. Д. Бур'яни. Чому зростає потенційна засміченість полів. Захист рослин. 1998. № 7. С. 24–25.

[262] Бур'яни та заходи боротьби з ними / Ю. П. Манько та інші. Київ, Учбово-методичний центр Мінагропрому України. 1998. С. 20.

найменший 18,6–22,6 тис. шт./м^2, при альтернативній системі удобрення дещо зріс 25,3–27,5 тис. шт./м^2, однак на варіантах без добрив чисельність насіння бур'янів була найвищою і становила 28,4–31,7 тис. шт./м^2. Після попередника соя кількість насіння сегеталів на варіантах з внесенням $N_{60}P_{90}K_{90}$ становило 22,3–19,7тис. шт./м^2, із застосуванням побічної продукції + $N_{30}P_{45}K_{45}$ – 18,7–24,9, на контролі без добрив 23,8–26,6 тис. шт./м^2.

В посівах ячменю ярого після попередника пшениця озима найменший насіннєвий банк бур'янів (21,0 тис. шт./м^2) сформувався при традиційному живленні. При альтернативній системі удобрення потенційна забур'яненість ґрунту була вищою і становила 27,5 тис. шт./м^2 (табл. 3).

Нашими спостереженнями встановлено, що в посівах гречки на варіанті з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ відмічена найменша кількість насіння бур'янів в ґрунті – 20,2 тис. шт./м^2, а найбільша їх кількість була на контролі (без добрив) – 28,3 тис. шт./м^2.

При вирощуванні сої найменший насіннєвий фонд сегетальних видів відмічено після попередника ячмінь ярий при традиційній системі удобрення 21,1 тис. шт./м^2 після гречки – 26,5 тис. шт./м^2, дещо вищою була на варіанті із застосуванням побічної продукції і мінеральних добрив ($N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$) – 27,0 і 31,1 тис. шт./м^2.

У 2020 році потенційна забур'яненості ґрунту зберегла свою закономірність відповідно до 2016–2020 рр. В 1, 2 зерно-просапних сівозмінах насіннєвий банк бур'янів на варіантах з внесенням традиційної систем удобрення сформував найнижчі показники в посівах кукурудзи на зелену масу – 11,3–12,5 тис шт./м^2, пшениці озимої (після попередника кукурудза на зелену масу) – 14,4–15,4, ячменю ярого – 12,5 / гречки – 14,4, сої – 15,3–16,3, пшениці озимої (після сої) – 11,2–13,2 тис. шт./м^2 (табл. 3).

Таблиця 3

Потенційна забур'яненість ґрунту в посівах сільськогосподарських культур в ланках сівозмін, тис. шт.м^2

Сівозміна	Попередник	Удобрення	Кількість насіння бур'янів	
			середнє за 2016-2020 рр.	2020 р.
Кукурудза на зелену масу				
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	20,5	18,5
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	19,6	11,3
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ п. п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	20,3	15,0
2		Контроль (без добрив)	23,2	19,5
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	21,9	12,5
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ п. п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	23,0	16,3
Пшениця озима				
1	Кукурудза	Контроль (без добрив)	28,4	22,4
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	18,6	14,4
		П. п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	25,3	21,5
	Соя	Контроль (без добрив)	23,8	23,7
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	16,0	11,2
		П. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	22,3	18,7
2	Кукурудза	Контроль (без добрив)	31,7	24,4
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	22,6	15,4
		П. п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	27,5	22,5
	Соя	Контроль (без добрив)	26,6	25,0
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	19,7	13,2
		П. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	24,9	19,8
Ячмінь ярий				
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	29,7	17,5
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	21,0	12,5
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	27,5	16,2
Гречка				
2	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	28,3	18,5
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	20,2	14,4
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	27,5	17,5
Соя				
1	Ячмінь ярий	Контроль (без добрив)	30,5	28,8
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	21,1	15,3
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	27,0	27,7
2	Гречка	Контроль (без добрив)	34,7	30,3
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	26,5	16,3
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	31,1	29,0

Примітка: 1, 2 – зерно-просапна сівозміна (80 % насичення зерновими культурами); П. п. – побічна продукція.

Зростання потенційної засміченості орного шару ґрунту вже сьогодні спонукає до необхідності істотно збільшити затрати на засоби захисту посівів від бур'янів. Надумана «економія» на заходах знищення бур'янів обертається сьогодні і ще більше обернеться в найближчому майбутньому збільшенням затрат на агротехнічні і хімічні заходи для боротьби з бур'янами.

Наприклад: при сучасному рівні забур'янення полів надійний захист посівів цукрових буряків коштує в середньому від 143 до 220 доларів США на 1 га [263].

Щодо ґрунтового потенціалу бур'янів, пов'язано з наявністю запасів насіння і вегетативних органів розмноження, то сьогодні в умовах сільськогосподарського виробництва він практично необмежений: досягає млрд. і десятків млрд. на гектар [264].

Зниження потенційної засміченості орного шару насінням бур'янів – процес довготривалий. Його не можна досягти короткою компанією в кілька років, як це можна зробити в боротьбі з багаторічниками. При якісному проведенні усього комплексу агротехнічних заходів застосуванні гербіцидів за ротацію восьмипільних і десятипільних сівозмінах у стаціонарах потенційні запаси насіння бур'янів у ґрунті зменшувались відповідно на 25-35 % [265].

Таким чином, закономірності потенційної забур'яненості ґрунту насінням бур'янів дає змогу прогнозувати забур'яненість посівів сільськогосподарських культур.

Актуальна забур'яненість посівів сільськогосподарських культур

Чергування культур у сівозміні впливає на динаміку проростання і розвитку різних видів бур'янів, що зумовлює зниження запасів їх насіння в ґрунті. Кількість життєздатного насіння бур'янів в орному шарі зменшується з часом. На третій рік перебування в ґрунті

[263] Marín C., Weiner J. (2014) Effects of density and sowing pattern on weed suppression and grain yield in three varieties of maize under high weed pressure. Weed Res, vol. 54. p. 467–474.
[264] Івончик П. Н., Березівський Л. М. Забур'яненість льону. Захист рослин. 1998. № 10. С. 19–20.
[265] Іващенко О. О., Кунак В. Д. Бур'яни. Чому зростає потенційна засміченість полів. Захист рослин. 1998. № 7. С. 24–25.

життєздатного насіння з однорічних бур’янів залишається менше 5 %. За два роки, коли поле зайняте озимими та ранніми ярими культурами в ґрунт не надходить насіння пізніх ярих бур’янів, оскільки в бур’яновому угрупованні холодостійких культур вони майже відсутні. За цей період насіння тих видів, що є в ґрунті, в основному, втрачає життєздатність [266].

Бур'яни проростають за порівняно низьких температур і сходять раніше кукурудзи, а більш теплолюбні – одночасно з нею, тому вони розвиваються інтенсивніше за цю культуру і сильно пригнічують її на початкових фазах росту й розвитку. Основне завдання догляду за посівами кукурудзи – створення оптимальних умов для проростання насіння та одержання дружних і повних сходів, захист їх від бур'янів, хвороб та шкідників, а також забезпечення вологою і поживними речовинами на всіх етапах органогенезу.

Кукурудза – є з найбільш цінних за кормовими і урожайними властивостями культура. За своїм біологічним потенціалом, рівнем продуктивності і якісними показниками продукції вона переважає інші зернові культури, добре реагує на оптимізацію умов життєдіяльності рослин, які створюються шляхом застосування науково обґрунтованих сівозмін [267].

У 2016-2020 роках на фоні без внесення гербіцидів найбільша кількість проростих бур’янів у посівах кукурудзи на зелений корм на початку вегетації була на варіанті з внесенням під культуру мінеральних добрив у нормі $N_{120}P_{100}K_{100}$ + гній 40 т на гектар (304–326 шт./м^2) – традиційна система удобрення. Менша чисельність сегеталів відмічена із застосуванням альтернативної системи удобрення 264–292 шт./м^2 (сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$ + побічна продукція + $N_{60}P_{50}K_{50}$). До кінці вегетації культури кількість бур’янів зменшилась за рахунок зростання маси культури, яка спричинила витіснення сегетальної рослинності на 32 %. Найменше їх проросло при

[266] Anderson R. L. (2003) An ecological approach to strengthen weed management in the semiarid Great Plains. Advances in Agronom, No 80. p. 33–62.

[267] Вавринович О. В., Качмар О. Й., Дубицька А. О. Вплив сівозмінного фактора на гербологічний стан посівів кукурудзи. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2018. Вип. 64. С. 3–17.

традиційному удобренні (95–106 шт./м^2) з абсолютно сухою масою 97,7–102,1 г/м^2 (табл. 4). Найбільш поширеними видами були: грицики звичайні *(Capsella bursa-pastoris (L.) Medik.)*, гірчак шорсткий *(Polygonum lapathifolium L.)*, лобода біла *(Chenopodium album L.)*, мишій сизий *(Setaria glauca L.)*, пирій повзучий *(Elytrigia repens L.)*, горошок мишачий *(Vicia cracca L.)*, шпергель польовий *(Spergula arvensis L.)*.

Пшениця – це основна найважливіша зернова культура, яку вирощують у всьому світі для виробництва продовольчого зерна. Впродовж усього періоду вегетації культури, з метою збереження та отримання максимальної продуктивності, важливе значення мають заходи захисту її від шкідливих організмів. Серед них чільне місце займають заходи обмеження чисельності бур'янів, які можуть бути причиною суттєвих втрат урожаю пшениці озимої.

Пшениця озима є культурою весняного кущення і добре розростається з осені, і цим пригнічує бур'янову рослинність. Однак в контрастних за набором культур сівозмінах ці процеси відбуваються по-різному. У посівах пшениці озимої в фазі кущення на початку вегетації найбільше бур'янової рослинності проросло після попередника кукурудза на зелену масу. На варіантах традиційної ($N_{60}P_{90}K_{90}$) та альтернативної (побічна продукція + $N_{30}P_{45}K_{45}$) системи удобрення чисельність становила відповідно 224–235 та 192–200 шт./м^2. Після попередника соя актуальна забур'яненість посівів була нижчою і становила на варіантах із застосуванням побічної продукції + $N_{45}P_{45}K_{45}$ (альтернативна) 198–202 шт./м^2, з внесенням $N_{90}P_{90}K_{90}$ (традиційна система) – 226–239 шт./м^2 бур'янів. Однак до кінця вегетації на удобрених варіантах бур'янова рослинність знизилась за рахунок наростання вегетативної маси культури і це пригнітило розвиток і частково витіснило кількість сегеталів. Після попередника соя при внесенні мінеральних добрив в дозі $N_{60}P_{90}K_{90}$ чисельність сегеталів становила 97–101 шт./м^2, з повітряно-сухою масою 67,6–73,1 г/м^2. Після попередника кукурудза на зелену 98–99 шт./м^2, з повітряно-сухою масою 67,0–70,0 г/м^2, що у 1,6 рази менше, ніж на контролі. На

варіантах із альтернативної системи удобрення кількість бур'янів становила 118–123 та 116–123 шт./м^2 після сої та кукурудзи на зелену масу, що на 23 та 24 % є нижча відповідно до контролю (табл. 4). Переважаючими видами бур'янів були: триреберник непахучий (*Matricaria perforata Merat*.), фіалка польова *(Viola arvensis Murray.*), горошок мишачий *(Vicia cracca L.)*.

При вирощуванні ячменю ярого створюються сприятливіші умови для росту бур'янів, ніж при вирощуванні пшениці озимої, рослини якої дуже рано починають відростати і швидко нарощувати вегетативну масу. Ярі культури пізніше починають відростати, і тому менше пригнічують бур'яни, а часто і самі пригнічуються ними. Бур'яни у посівах завдають великих втрат урожаю ячменю ярому. Вони краще пристосовуються до виживання у конкуренції за життєвий простір і джерела енергії, ніж основна культура. Таким чином, підтримання полів у чистому від бур'янів стані є найважливішою передумовою високої продуктивності культури.

В посівах ячменю ярого на початку вегетації зафіксували меншу кількість проростих бур'янів на варіантах із застосуванням побічної продукції + $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 283 шт./м^2 із підвищенням дози добрив до $N_{60}P_{60}K_{60}$ чисельність зросла і становила 327 шт./м^2. Загалом в кінці вегетації кількість сегеталів зменшилась на 46 % відповідно до фази кущення, це відбулось за рахунок наростання маси культури, яка спричинила пригнічення і часткове витіснення бур'янових видів. На контролі (без добрив) чисельність бур'янів була найвищою і становила – 268 шт./м^2, з повітряно-сухою масою 180,9 г/м^2, що в 1,5 і 1,3 рази є більшим, ніж на варіантах з традиційною та альтернативною системою удобрення (табл. 4). Найбільш домінуючими видами сегетальної рослинності були (шпергель польовий *(Spergula arvensis L.)*, зірочник середній *(Stellaria media (L.) Vill.)*, гірчак шорсткий *(Polygonum lapathifolium L.)*,горошок мишачий *(Vicia cracca L.)*, куряче просо *(Echinochloa crus galli (L.) P. Beauv)*), фіалка польова *(Viola arvensis Murray.*), пирій повзучий *(Elytrigia repens L.)*.

Гречка у зв'язку з пізніми строками висівання та скоростиглістю є страховою культурою для пересівання загиблої озимини. Її використовують для післяукісних і післяжнивних посівів, а також як сидеральну культуру на зелене добриво. Гречка є добрим попередником для інших культур. Пояснюється це тим, що на площах, де її вирощують широкорядним способом, значно зменшується кількість бур'янів завдяки кількаразовим допосівним обробіткам ґрунту та міжрядним розпушуванням, а на звичайних рядкових - внаслідок пригнічення бур'янів під покривом гречки. Культури, які розміщують у сівозміні після гречки, краще забезпечуються фосфором і калієм, на які багаті післяжнивні рештки гречки.

У посівах гречки облік забур’яненості був високий на варіантах з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ і становив 245 шт./м^2 дещо нижчим він був на варіанті з внесенням побічної продукції $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 228 шт./м^2. Перед збиранням культури при традиційній системі удобрення чисельність сегеталів у 1,9 рази знизилась і становила 106 шт./м^2, з масою бур’янів 107,4 г/м^2 (табл. 4). Переважаючими видами бур’янів були мишій сизий *(Setaria glauca L.)*, гірчак шорсткий *(Polygonum lapathifolium L.),* лобода біла *(Chenopodium album L.)*.

Зернобобові культури мають велике агротехнічне значення. Вони є добрим попередником для більшості польових культур. При внесенні мінеральних добрив вони, як і інші зернобобові культури, ставлять відносно невеликі вимоги до вибору попередника, тому їх часто розміщують після озимих зернових. Однак взаємовідносини між культурами і бур’янами сої та кормових бобів складаються по різному. В перший період вегетації рослини ростуть дуже повільно і мало впливають на умови росту бур’янів, спричинюючи швидкий ріст сегетальної рослинності, кореневі виділення збагачені на азот та інші сполуки, покращують умови живлення бур’янів.

У посівах сої на варіантах із внесення побічної продукції + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$ цей показник становив 165–194, $N_{45}P_{45}K_{45}$ – 78–102 шт./м^2.

Таблиця 4

Актуальна забур'яненість в посівах сільськогосподарських культур середнє 2016–2020 рр.

Сівозміна	Попередник	Удобрення	Кількість бур'янів, шт./м^2		Маса бур'янів, г/м^2
			кущення	збирання	
Кукурудза на зелену масу					
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	286	172	136,7
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	326	106	102,1
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ п.п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	292	128	119,2
2		Контроль (без добрив)	267	169	133,2
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	304	95	97,7
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ п.п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	264	118	111,9
Озима пшениця					
1	Кукурудза	Контроль (без добрив)	190	159	130,9
		$N_{90}P_{90}K_{90}$	235	98	70,0
		П.п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	200	116	92,8
	Соя	Контроль (без добрив)	196	157	122,9
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	239	97	73,1
		П.п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	202	118	86,4
2	Кукурудза	Контроль (без добрив)	178	157	140,1
		$N_{90}P_{90}K_{90}$	224	99	67,0
		П.п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	192	123	97,0
	Соя	Контроль (без добрив)	190	154	133,7
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	226	101	67,6
		П.п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	198	123	89,0
Ячмінь ярий					
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	279	268	180,9
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	327	175	109,6
		П.п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	283	211	145,4
Гречка					
2	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	212	195	153,8
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	245	130	117,3
		П.п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	228	161	134,7
Соя					
1	Ячмінь ярий	Контроль (без добрив)	137	140	172,0
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	165	78	111,4
		П.п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	147	93	159,1
2	Гречка	Контроль (без добрив)	168	168	181,1
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	194	102	122,8
		П.п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	182	117	148,2

Примітка: 1, 2 – зерно-просапна сівозміна (80 % насичення зерновими культурами); П. п. – побічна продукція.

Перед збиранням сої забур'яненість на всіх варіантах значно знизилась. На варіантах без добрив (контроль) чисельність сегеталів була високою і становило – 140 та 168 шт./м^2 після різних попередників (ячмінь ярий, гречка).

Однак погодні умови сприяли росту і розвитку культури. Внесення традиційної і альтернативної системи удобрення покращує вегетативну масу культури, яка сприяла зниженню чисельності сегеталів. Після попередника ячмінь ярий – 78–93 шт./м^2, після гречки 102–117 шт./м^2, що в 1,8 та 1,7 рази є нижчим, ніж у фазі кущення (табл. 4). Переважаючими видами є редька дика *(Raphanus raphanistrum L.)*, гірчак шорсткий *(Polygonum lapathifolium L.)*, лобода біла *(Chenopodium album L.)*.

Конкурентоздатність сільськогосподарських культур до бур'янів у сівозмінах

Впровадження науково обґрунтованих сівозмін є важливим фактором для боротьби з бур'янами. Внаслідок різних біологічних особливостей культурних рослин (швидкість росту, висота і форма стебла, розташування і форма листкової поверхні тощо), а також під впливом агротехнічних заходів у посівах культурних рослин створюються різні умови для росту бур'янів. Отже, чергування різних культур змінює їх взаємовідношення з бур'янами і дає можливість забезпечувати найкращий ріст культурних рослин та створювати гірші умови для розвитку бур'янів [268].

Забур'яненість сівозміни із розрахунку на одне поле залежить від складу і співвідношення в ньому груп культур, які по різному протидіють конкуренції бур'янів. Справа в тому, що окремі види та біологічні групи бур'янів в процесі еволюції пристосувались до певних культур і стали їх супутниками. Чим більше подібності у циклах розвитку культурних рослин і бур'янів, тим частіше вони ростуть разом і пригнічують одне одного. Озимі та зимуючі види забур'яніють переважно посіви озимих культур та багаторічних трав, ранні ярі бур'яни посіви ранніх ярих, а пізні - пізніх ярих культур.

[268] Ларіонов Д. К., Макодзеба І. О. Бур'яни та боротьба з ними. Київ. Держсільгоспвидав УРСР, 1963. 240 с.

Відомо, що добре розвинуті культурні рослини краще пригнічують бур'яни. Насичення сівозміни різними ярими зерновими колосовими та зернобобовими культурами знижує їх забур'яненість перш за все, за рахунок обмеження кількості багаторічних бур'янів, що пояснюється неспівпаданням циклів розвитку багаторічних та ярих зернових і зернобобових культур. Високе насичення сівозмін однойменними культурами з неминучим при цьому використанням повторних посівів супроводжується посиленням забур'яненості культур. Запровадження сівозмін з урахуванням біологічних особливостей бур'янів і культурних рослин сприяє зменшенню забур'яненості посівів та підвищенню врожайності всіх культур, що вирощують у сівозмінах [269].

Найбільш інформативним критерієм оцінки шкодочинності бур'янів є їх маса в посівах [270]. Формування надземної маси бур'янів у значній мірі залежить від вирощуваної культури [271], [272]. Вивчення їх сумісного росту, накопичення вегетативної маси дає змогу оцінити ряд показників, що характеризують конкурентні відносини між культурами і бур'янами [273].

Конкуренція в цілому являється універсальним процесом для всі видів угрупувань. Вона завжди охоплює повний комплекс життєвих ресурсів, багатогранна в своїх механізмах і проявах. Сільськогосподарські культури і бур'яни трофічні еквіваленти, належать до одного автотрофного блоку, при цьому конкурентне відношення між ними відзначається значною гостротою і нерідким явищем рішаючим фактором у формуванні врожаю [274], [275].

На взаємовідношення культурних рослин і бур'янів великий вплив має чисельність компонентів агрофітоценозу і співвідношення

[269] Бородань В. О., Скурятін Ю. М. Вплив польових сівозмін на забур'яненість посівів у Поліссі. Вісник аграрних наук. 2002. № 7. С. 35–38.

[270] Лазаускас П. М. Взаимосвязь между засоренностью и продуктивностью агрофитоценоза и земледелие. Засоренность и борьба с сорняками. Вильнюс, 1976. С. 66–77.

[271] Van Acker R. C. (2009) Weed biology serves practical weed management. Weed research, vol. 49. p. 1–5.

[272] Грабак Н. Х. Поліпшення обробітку ґрунту в Степу. Вісник аграрної науки. 2003. № 3. С. 12–14.

[273] Anderson R. L. (2015) Integrating a complex rotation with no-tillim proves weed management in organic farming. Agron. Sustain. Dev, vol. 35 (3). p. 967–974

[274] Злобин Ю. А. Агрофитоцелогия. Харків, 1986. 73 с.

[275] Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India (2018) / Gharde Y. et al. Crop Prot, vol. 107. p. 12–18.

їх вікових груп. Ступінь конкурентоздатності бур'янів залежить від їх віку, найбільш конкурентоздатні ранні сходи бур'янів.

Проаналізувавши особливості конкурентних відносин між кукурудзою і бур'янами в середньому за 2016-2020 рр. встановили, за умов застосування добрив зростає "тиск" культури на бур'яни. На варіантах з внесенням традиційної системи удобрення співвідношення мас культури і бур'янів становило 22,8–25,2. На варіантах без внесення мінеральних добрив маса бур'янів була високою, що спричинило зменшення «тиск» кукурудзи на сегетальну рослинність 13,7–14,1, однак співвідношення бур'янів у культурі і без неї зросло в 0,41 та 0,46 рази (табл. 5).

Конкурентні відносини між пшеницею озимою та бур'янами з таблиці 5 видно, що найменший конкурентний „тиск" бур'янів на культурний компонент у посівах забезпечувався у зерновій сівозміні (попередник кукурудза на зелену масу). За сумісного співіснування культури і бур'янів оптимальне співвідношення їх мас сформувались на варіантах без добрив на рівні – 5,6–6,2, на удобрених ($N_{60}P_{90}K_{90}$) – 19,4–21,3. Після попередника соя, озима пшениця є найбільш конкурентоздатною на варіантах з внесенням мінеральних добрив – 22,1–23,3, а на контролі є набагато нижчою і становило 7,3–8,5.Однак співвідношення маси бур'янів у культурі і без неї при застосування традиційної системи удобрення цей показник є низький 0,17, на контролі значно вищий 0,42.

Вивчення їх сумісного росту, накопичення вегетативної маси дає змогу оцінити конкурентні відносини між культурами і бур'янами. Вища конкурентоздатність ячменю ярого щодо бур'янів була при традиційному мінеральному живленні: співвідношення маси культури і бур'янів – 5,3. Стійкість культури до проростання бур'янів у посівах значно знижувалась на контролі, коефіцієнт конкурентоздатності становить 1,3, однак співвідношення маси бур'янів у культурі і без неї є відповідно вищим – 0,50, ніж на удобрених варіантах – 0,32 і 0,40.

Таблиця 5

Конкурентні відносини між культурами і бур'янами в ланках сівозмін середнє за 2016–2020 рр.

Сівозміна	Попередник	Удобрення	Культура без бур'янів, г/м²	Сумісний розвиток культури і бур'янів		Бур'яни без культури, г/м²	Співвідношення маси	
				культура, г/м²	бур'яни, г/м²		культури і бур'янів	бур'янів у культурі і без неї
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кукурудза на зелену масу								
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	2777,3	1922,0	136,7	296,5	14,1	0,46
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	3628,3	2328,0	102,1	338,8	22,8	0,30
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ п. п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	3462,8	2166,1	119,2	327,3	18,2	0,36
2		Контроль (без добрив)	2962,1	1830,0	133,2	325,5	13,7	0,41
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	3730,2	2460,0	97,7	392,5	25,2	0,25
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ п.п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	3515,2	2245,3	111,9	356,9	20,1	0,31
Пшениця озима								
1	Кукурудза	Контроль (без добрив)	1438,8	818,0	130,9	331,8	6,2	0,39
		$N_{90}P_{90}K_{90}$	2334,0	1356,1	70,0	385,7	19,4	0,18
		П. п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	1946,7	1250,0	92,8	350,7	13,5	0,26
	Соя	Контроль (без добрив)	1489,8	1042,0	122,9	296,3	8,5	0,41
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	2729,0	1614,1	73,1	427,1	22,1	0,17
		П.п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	2299,8	1344,1	86,4	359,4	15,6	0,24
2	Кукурудза	Контроль (без добрив)	1509,2	786,0	140,1	292,2	5,6	0,48
		$N_{90}P_{90}K_{90}$	2490,2	1424,0	67,0	356,7	21,3	0,19
		П. п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	2118,3	1258,0	97,0	310,4	13,0	0,31
	Соя	Контроль (без добрив)	1455,2	982,1	133,7	320,1	7,3	0,42
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	2815,4	1573,2	67,6	396,3	23,3	0,17
		П. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	2317,0	1268,0	89,0	364,1	14,2	0,24

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячмінь ярий								
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	558,5	236,8	180,9	364,3	1,3	0,50
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	1303,6	580,2	109,6	344,0	5,3	0,32
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	942,0	401,5	145,4	360,3	2,8	0,40
Гречка								
2	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	584,0	454,2	153,8	336,6	3,0	0,46
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	909,6	675,0	117,3	421,2	5,8	0,28
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	724,6	577,4	134,7	389,5	4,3	0,35
Соя								
1	Ячмінь ярий	Контроль (без добрив)	1326,4	952,1	172,0	323,4	5,5	0,53
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	1724,1	1224,1	111,4	416,0	11,0	0,27
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	1436,8	1063,2	159,1	389,0	6,7	0,41
2	Гречка	Контроль (без добрив)	1481,3	1104,0	181,1	390,3	6,1	0,46
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	1755,5	1302,4	122,8	466,6	10,6	0,26
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	1620,4	1212,5	148,2	411,4	8,2	0,36

Примітка: 1, 2 – зерно-просапна сівозміна (80 % насичення зерновими культурами); П. п. – побічна продукція.

Особливості конкурентних відносин гречки та бур'янів встановлено, що стійкість культури до проростання бур'янів у посівах значно зросла при внесенні $N_{60}P_{60}K_{60}$, коефіцієнт конкурентоздатності – 5,8. Найнижчим цей показник був на контролі і становив 3,0.

При взаємовідношенні сої та бур'янів вища конкурентоспроможність була на варіантах з внесенням $N_{45}P_{45}K_{45}$: співвідношення мас культури і бур'янів становило 11,0 (попередник ячмінь ярий) та 10,6 (попередник гречка). Стійкість культури до проростання бур'янів у посівах значно знижується на контролі, коефіцієнт конкурентоздатності – 5,5 та 6,1 після попередників. Однак співвідношення бур'янів у культурі і без неї зросло в 0,46 – 0,53 рази (табл. 5).

Таким чином, показник конкурентоздатності сільськогосподарських культур щодо бур'янів, свідчить про перевагу застосуванню мінерального живлення, що в значній мірі впливає на зниження шкідливості бур'янових компонентів. Також збільшення або зменшення маси сегетальної рослинності веде до зміни врожаю

сільськогосподарських культур.

Винос поживних речовин бур'янами в посівах сільськогосподарських культур

Винос бур'янами поживних речовин залежить від багатьох чинників, він є надзвичайно важливим критерієм оцінювання агротехнічних факторів. Концептуальна модель інтегрованої системи захисту рослин від бур'янів повинна мати інформацію про показники виносу поживних речовин та їхні зміни залежно від агротехнічних факторів. Це дасть можливість відшукати раціональні шляхи ефективного використання добрив, приймати рішення по запобіганню втрат поживних речовин з ґрунту в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах [276].

Однією з причин зниження врожайності сільськогосподарських культур є шкодочинність бур'янів, що обумовлюється виносом ними з ґрунту поживних речовини, які необхідні для культурних рослин. Виносячи з ґрунту значну частину доступних сполук мінерального живлення, бур'яни знижують коефіцієнт їх використання культурними рослинами [277], [278].

В результаті досліджень М. С. Шевченка [279] за різних темпів виносу поживних речовин визначено неоднозначність їх впливу на культурні рослини в межах таких біогруп бур'янів як малорічні та багаторічні. Злакові бур'яни (мишій сизий (*Setaria glauca (L.) Beauv*), плоскуха звичайна (*Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.*)) слабкіше пригнічували кукурудзу порівняно з двосім'ядольними. В агроценозі "кукурудза – злакові бур'яни" культура виявилася більш конкурентоздатною і винос азоту нею перевищував винос бур'янами на 18,7 кг/га, фосфору на 8,4 кг/га та калію на 25,3 кг/га.

---

[276] Винос основних елементів живлення бур'янами в агрофітоценозах Полісся / Л. І. Ворона та ін. Збірник наукових праць ННЦ "Інститут землеробства НААН". 2006. Вип. 1/2. С. 26–33.

[277] Борона В. П., Задорожний В. С., Карасевич В. В. Інтегрована боротьба з бур'янами в посівах кормових та зернофуражних культур. Матеріали науково-теоретичної конференції "Особливості забур'янення посівів і захист від бур'янів у сучасних умовах". Київ, 2000. С. 55–57.

[278] Chauhan B., Singh R., Mahajan G. (2012) Ecology and management of weeds under conservation agriculture. Crop Prot, vol. 38. p. 57–65.

[279] Шевченко М. С. Природоохоронна модернізація базових елементів землеробства як фактор оптимізації агроценозів. Бюл. Ін-ту зернового господарства УААН. 2005. № 26/27. С. 7–11.

Бур'яни поглинають з ґрунту велику кількість поживних речовин, погіршують тим самим нормальний ріст і розвиток культурних рослин. Через відсутність належних заходів захисту від бур'янів в посівах сільськогосподарських культур у Лісостепу України бур'яни здатні поглинати: азоту 160–200 кг/га; фосфору 55–90 кг/га; калію 170–250 кг/га [280], [281].

Бур'яни поглинають з ґрунту велику кількість поживних речовин, погіршують тим самим нормальний ріст і розвиток культурних рослин.

Спостереження показують, що при забезпеченні азотом та калієм бур’яни добре розвиваються сильніше конкурують з культурними рослинами. Вміст фосфору у сухій речовині різних видів сегеталів, на відміну від азоту і калію, значно менший.

Винос мінеральних речовин бур’янами залежить, насамперед, від сформованої ними маси на одному гектарі посіву. Вегетативна маса бур'янів є показником інтегрованим, що об'єднує вплив фітоценозу і вказує на роль конкретного організму в агроценозі. Аналіз отриманих даних показав, що у посівах кукурудзи на зелену масу найбільший сумарний винос мінеральних речовин – 114,7–117,0 кг/га відмічений на варіантах із застосування органо-мінеральної системи удобрення, що у 2,6 рази є вищим порівняно до контролю. З яких на азот (N) припадає 61,47–62,60, фосфор (P_2O_5) – 12,78–13,71, калій (K_2O) – 39,31–41,82 кг/га (табл. 6).

У посівах пшениці озимої після попередника кукурудза на зелену масу відмічено менший винос елементів живлення бур’янами ніж після сої. На варіантах з внесенням мінеральних добрив в нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ (після кукурудзи і сої) винос є найвищий і становив 79,8–81,1 та 81,0–81,4 кг/га з яких на азот (N) припадає 33,46–33,59 та 32,47–32,45, на фосфор (P_2O_5) – 11,91–12,12 і 12,45–12,75, на калій (K_2O) – 34,24–40,06 і 36,11–36,16 кг/га. На варіантах з альтернативною системою удобрення сумарний винос поживних

[280] Дерев’янський В. П. Залежно від засміченості. Карантин і захист рослин. 2004. № 6. С. 26–27.

[281] Іващенко О. О. Наші завдання сьогодні. Матеріали 3-ї науково-теоретичної конференції Українського наукового товариства гербологів «Забур’яненість посівів та засоби і методи її зниження» 5-6 березня 2002 р. Київ, 2002. С. 3–6.

речовин сегеталами був дещо нижчий і складав 63,2–69,2 після кукурудзи, 69,5–74,4 кг/га після попередника соя. Найменший винос елементів живлення був на варіантах без добрив 48,7–54,5 та 51,8–60,3 кг/га.

Таблиця 6

Винос мінеральних речовин сегетальною рослинністю у посівах сільськогосподарських культур в ланках сівозмін, середнє за 2016–2020 рр.

Сівозміна	Попередник	Удобрення	Вміст поживних речовин у сегетальній рослинності, %			Винос поживних речовин з ґрунту надземною масою бур'янів,кг/га			Сумарний винос NPK бур'янами кг/га
			N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кукурудза на зелену масу									
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	1,56	0,76	0,77	22,86	9,81	11,69	44,4
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	4,84	1,14	3,07	62,60	12,78	39,31	114,7
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ п.п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	2,88	1,02	2,27	42,23	11,90	33,50	87,6
2		Контроль (без добрив)	1,54	0,81	0,80	22,53	11,25	11,93	45,7
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	4,81	1,22	3,15	61,47	13,71	41,82	117,0
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ П. п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	3,08	1,16	2,17	43,13	13,62	31,11	87,9
Пшениця озима									
1	Кукурудза	Контроль (без добрив)	2,06	0,75	1,51	22,61	8,27	17,84	48,7
		$N_{90}P_{90}K_{90}$	4,35	1,58	4,71	33,46	12,12	34,24	79,8
		П. п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	2,64	1,08	3,35	23,49	9,17	30,50	63,2
	Соя	Контроль (без добрив)	2,23	0,80	1,64	24,31	8,77	18,70	51,8
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	4,08	1,63	4,71	32,47	12,75	36,16	81,4
		П. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	3,26	1,09	3,65	28,67	9,44	31,38	69,5

Продовження таблиці 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Кукуруза	Контроль (без добрив)	2,13	0,92	1,49	25,57	10,50	18,42	54,5
		$N_{90}P_{90}K_{90}$	4,30	1,58	4,55	33,59	11,91	35,64	81,1
		П. п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	2,70	1,08	3,42	25,97	9,99	33,23	69,2
	Соя	Контроль (без добрив)	2,23	0,95	2,05	25,41	10,78	24,10	60,3
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	4,24	1,66	4,82	32,45	12,45	36,11	81,0
		П. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	3,56	1,28	3,85	30,65	10,84	32,95	74,4
Ячмінь ярий									
1	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	2,72	0,85	3,80	31,00	10,43	37,56	79,0
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,74	1,20	4,22	47,62	14,78	57,85	120,2
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	3,03	1,11	3,45	37,73	14,20	42,03	94,0
Гречка									
2	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	5,08	1,07	2,97	63,36	13,61	35,48	112,5
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	6,54	1,58	5,27	86,20	21,31	70,33	177,8
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	5,80	1,23	4,32	76,08	17,92	59,37	153,4
Соя									
1	Ячмінь ярий	Контроль (без добрив)	3,19	0,98	3,85	49,12	15,07	53,04	117,2
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	5,91	1,36	5,89	80,71	18,52	79,37	178,6
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	4,30	1,18	5,34	56,81	16,60	75,80	149,2
2	Гречка	Контроль (без добрив)	3,14	1,04	3,45	47,36	15,47	46,68	109,5
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	6,05	1,48	6,10	83,27	20,78	85,66	189,7
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	4,46	1,20	5,02	62,77	17,71	72,94	153,4

Примітка: 1, 2 – зерно-просапна сівозміна (80 % насичення зерновими культурами); П. п. – побічна продукція.

В посівах ячменю ярого найвищий сумарний винос мінеральних речовин – 120,2 кг/га відмічено при традиційній системі удобрення. На варіанті без добрив (контроль), цей показник був найменший і становив 79,90 кг/га з яких винос азоту (N) становить 31,00, фосфору (P_2O_5) – 10,43, калію (K_2O) – 37,56 кг/га.

В посівах гречки найменший сумарний винос мінеральних речовин сегетальною рослинністю був на варіанті без добрив (контроль) – 117,4 кг/га. Дещо вищим був на варіанті з внесенням побічної продукції і мінерального живлення 153,4 кг/га. Однак, внесення мінеральних добрив в нормі $N_{60}P_{60}K_{60}$ збільшило винос поживних речовин на 34 %, порівняно до контролю. Виявлено, що у

посівах гречки найбільше з бур'янами виносилось азоту (86,20 кг/га), дещо менше калію (70,33 кг/га) і найменше фосфору (21,31 кг/га).

Найменший сумарний винос мінеральних речовин в посівах сої – 113,8–118,4 кг/га (попередники гречка, ячмінь ярий) був на варіантах без добрив При внесенні побічної продукції і $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$цей показник дещо зростає і становив 163,9–163,6 кг/га, Із застосуванням традиційної системи удобрення винос був найвищий 178,6 після ячменю ярого та 189,7кг/га після гречки, що збільшило винос у 1,5 та 1,7 рази, порівняно до контролю з яких на азот (N) припадає – 80,71–83,27, фосфор (P_2O_5) – 18,52–20,78, калій (K_2O) – 79,37–85,66 кг/га (табл. 6).

Таким чином, винос мінеральних речовин бур'янами залежить, насамперед, від сформованої ними маси на одному гектарі посіву. Вегетативна маса бур'янів є інтегрованим показником, що об'єднує вплив фітоценозу і вказує на роль конкретного організму в агроценозі.

Шкодочинність бур'янів в посівах сільськогосподарських культур

Негативний ефект від присутності бур'янів у складі агрофітоценозу в першу чергу проявляється на рості і розвитку культурної рослини, що в результаті призводить до зниження її урожайності. Крім цього бур'яни створюють перешкоди для виконання технологічних операцій, що знижує їх ефективність і призводить до зростання витрат праці і коштів на їх проведення. Шкода від бур'янів виражається у пригніченні росту і розвитку культурних рослин через зміну екологічних умов; зниження продуктивності сільськогосподарських культур; ускладнення у проведенні технологічних операцій, тощо. Обсяг можливої шкоди від присутності бур'янів у посівах залежить від рівня присутності бур'янового угрупування, метеорологічних умов, технологічних заходів вирощування та інше.

Крім поняття шкоди, як негативного впливу окремого виду або бур'янового угрупування і цілому, є термін шкодо чинність.

Шкодочинність – це об'єктивно інтегрована властивість бур'янів пригнічувати ріст і розвиток культурних рослин, знижуючи їх урожай та погіршувати його якість.

Вплив бур'янів на продуктивність сільськогосподарських культур визначається багатьма факторами – видовий склад бур'янів, інтенсивність їх сходів, умови періоду початку засмічення посівів, конкурентна здатність культури.

Плоскуха звичайна знижує урожай зерна кукурудзи на 2 %, лобода біла – на 10 % порівняно з кукурудзою, яка прополювалась у фазі 4-5 листочків. Крім того, виявлено, що лобода біла виділяє щавлеву кислоту, яка пригнічує ріст і розвиток кукурудзи.

При вивченні конкурентоздатності кукурудзи та бур'янів встановлено, що гірчиця польова навіть при незначній забур'яненості знижує урожай в 1,5-2 рази, а при значній – у 5-6 разів. Менше шкоди завдає посівам кукурудзи мишій зелений та чистець однорічний. Дурман звичайний, мишій зелений і гірчиця польова при забур'яненості 10-15 рослин на 1 м^2 знижували урожай кукурудзи відповідно на 14,9, 18,4 і 16,6 ц/га. Ще більшої шкоди завдають багаторічні коренепаросткові бур'яни (гірчак березковидний, осот рожевий, осот жовтий польовий). При такій засміченості ці бур'яни знижують урожай зерна на 50–80 %.

При природній забур'яненості (170 шт.м^2, повітряно-сухій масі 89,5 г/м^2) недобір урожаю ячменю дорівнював 6,8 ц/га, або 16,1 %. При зменшенні забур'яненості на 50 і 75 % втрати урожаю зменшилась відповідно на 3,8 і 2,0 ц/га. 20 шт. бур'янів на 1 м^2 в посівах ячменю є порогом шкодочинності.

Шкодочинність бур'янів у посівах озимої пшениці при наявності 5 бур'янів на 1 м^2. Зниження врожаю зерна при цьому досягало 5,3–5,7 ц/га.

Урожайність ярої пшениці знижується на 20 % і ячменю на 7 % при 20 рослинах гречки татарської на 1 м^2, 30 рослин цього бур'ян знижували врожай відповідно на 35 і 11 %, 80 – на 450 і 26 %, а 180 рослин – на 67 і 57 %

Просапні культури більш чутливі до забур'яненості посівів, ніж культури суцільного посіву. Для них економічні пороги шкодочинності значно нижчі. Для малорічних бур'янів вони становлять: у посівах цукрових буряків – 1–8 шт./м^2, кукурудзи на силос – 3–10, картоплі – 3–15, соняшнику – 18–50 шт./м^2.

Бур'яни в посадках картоплі значно знижують врожайність картоплі та якість бульб. Навіть при забур'яненості 10 шт./м^2 врожайність зменшилась на 36,6 %, зі збільшенням кількості до 40 шт./м^2 – на 69,8 %, а вміст крохмалю і сухих речовин – на 1,2-1,5 %.

За розрахунками ЦІНАО, при звичайній засміченості посівів бур'яни виносять з ґрунту щорічно 10 млн. тон поживних речовин. Навіть при слабкій забур'яненості (15 шт./м^2), земля втрачає близько 15 кг/га азоту, 10 кг/га фосфору і 40 кг/га калію. В той час як формування 1 тону зерна рослин потребують 25 кг азоту, 15 кг фосфору, 15 кг калію. При високій забур'яненості (51–100 шт./м^2) урожай зерна кукурудзи знижується на 24 ц/га, при середній (16–50 шт./м^2) – на 8 ц/га; цукрових буряків відповідно на 46 ц/га і 13,2 ц/га [282].

Дослідження вже при мінімальній забур'яненості (10 шт./м^2) плантація картоплі на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах урожай її знижується на 36,6 %.

Розрахунки в середньому за 2016–2020 рр. показали, що в посівах кукурудзи на зелену масу у 1, 2 зерно-просапних сівозмінах на варіантах із застосуванням органо-мінеральних добрив сформувалась найвища врожайність – 43,3 на фоні з гербіцидам та 40,1 т/га без хімічного захисту і з найменшим зниженням врожаю від присутності бур'янів в посівах 7,4 %. Більш вагоме зниження врожаю за альтернативної системи удобрення – 34,12 та 30,88 т/га із 9,5 % (табл. 7).

[282] Безручко О. І. Шкодочинність бур'янів у посівах сільськогосподарських культур. Агроінком. 1998. № 1–2. С. 18–20.

Таблиця 7

Шкодочинність бур'янів в посівах сої, середнє 2016–2020 рр., т/га

Сівозміна	Попередник	Удобрення	Середня врожайність, т/га		Зниження врожаю від присутності бур'янів в посіві, %
			на фоні гербіциду	без гербіциду	
Кукурудзи на зелену масу					
1, 2 Зерно-просапна (80 % н.з.к.)	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	21,96	19,30	12,1
		Гній, 40 т/га + $N_{120}P_{100}K_{100}$	43,30	40,10	7,4
		Сидерат + $N_{60}P_{50}K_{50}$+ П. п. + $N_{60}P_{50}K_{50}$	34,12	30,88	9,5
Пшениця озима					
1, 2 Зерно-просапна (80 % н. з. к.)	Кукурудза	Контроль (без добрив)	2,65	2,36	11,2
		$N_{90}P_{90}K_{90}$	5,05	4,69	7,0
		П. п. + $N_{45}P_{45}K_{45}$	3,73	3,38	9,4
	Соя	Контроль (без добрив)	2,75	2,42	12,1
		$N_{60}P_{90}K_{90}$	5,22	4,88	6,6
		П. п. + $N_{30}P_{45}K_{45}$	3,84	3,52	8,3
Ячмінь ярий					
1 Зерно-просапна (80 % н. з. к.)	Пшениця озиму	Контроль (без добрив)	2,31	1,85	19,6
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,91	3,41	12,7
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	3,27	2,79	14,5
Гречка					
2 Зерно-просапна (80 % н. з. к.)	Пшениця озима	Контроль (без добрив)	1,38	1,12	18,8
		$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,96	1,74	11,5
		П. п. + $N_{30}P_{30}K_{30}$	1,71	1,47	13,6
Соя					
1 Зерно-просапна (80 % н. з. к.)	Ячмінь ярий	Контроль (без добрив)	1,39	1,16	16,5
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	1,92	1,71	10,8
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	1,74	1,53	12,2
2 Зерно-просапна (80 % н. з. к.)	Гречка	Контроль (без добрив)	1,37	1,17	15,0
		$N_{45}P_{45}K_{45}$	1,91	1,71	10,4
		П. п. + $N_{22,5}P_{22,5}K_{22,5}$	1,73	1,53	11,8

Кращим попередником в посівах пшениці озимої є соя, зниження врожаю від присутності бур'янів становило відповідно 6,6 % на фоні традиційного мінерального живлення з врожайністю

пшениці озимої 5,22 т/га, а на фоні альтернативної системи удобрення 8,3 %, з врожайністю 3,84 т/га. Після попередника кукурудзи на зелену масу на органо-мінеральному фоні зниження становило відповідно 7,0 %.

Отже, чим вища врожайність пшениці озимої тим найменше зниження урожаю від сегетальної рослинності в посівах.

За результатами наших досліджень ячмінь ярий є культурою, посіви якої є більш забур'яненими порівняно до пшениці озимої і менш конкурентоздатний щодо бур'янів. Це викликає загрозу істотного зниження її врожаю. Удобрення відіграє важливу роль у формуванні рівня забур'яненості та проявляють суттєвий вплив на рівень врожайність ячменю. Найнижчий відсоток зниження врожаю – 12,7 % спостерігається на варіантах з внесенням мінерального живлення ($N_{60}P_{60}K_{60}$), найвище зниження 19,6 % – на неудобрених ділянках (контроль).

Розрахунки показали, що в посівах гречки при традиційній системі удобрення сформувалась вища врожайність – 1,96 т/га, на контролі 1,38 т/га. Важливу роль у зменшенні втрат врожаю відіграє удобрення: зниження врожаю від присутності бур'янів на варіантах з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ становило відповідно 11,5 %, при застосуванні побічної продукції та $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 13,6%.

У посівах сої найнижчий відсоток зниження врожаю відмічено при традиційному живленні – 10,4 % з високою врожайністю 1,91 т/га (попередник гречка) та 10,8 % з врожаєм –1,92 т/га (попередник ячмінь ярий). Найвище зниження врожайності відмічено на варіанті без добрив (контроль) – 15,0–16,5 % при найменшій врожайності культури 1,37–1,39 т/га (табл. 7).

Недостатнє вивчення взаємовідносини між культурними рослинами і бур'янами, системи обробітку ґрунту, удобрення, які можуть носити і позитивний і від'ємний характер, проблеми шкодочинності бур'янів є одна з актуальних проблем захисту рослин.

ВИСНОВКИ:

Проаналізувавши потенційну забур'яненість ґрунту в 1, 2 зерно-просапних сівозмінах встановлено, що насіннєвий банк бур'янів на

варіантах традиційної системи удобрення при внесенні на гектар сівозмінної площі гній, 8 т/га + $N_{69}P_{77}K_{77}$ сформував найнижчі показники в посівах кукурудзи на зелену масу 19,6–21,9 тис шт./м^2, пшениці озимої (після попередника кукурудза на зелену масу) – 15,4 та 22,6, ячменю ярого –21,0 / гречки – 20,2, сої – 16,3 та 26,5, пшениці озимої (після сої) – 16,0–19,7 тис. шт./м^2.

Актуальна забур'яненість бур'янів на фоні без гербіцидів на початку вегетації за традиційної системи удобрення була найвищою однак перед збиранням врожаю сільськогосподарських культур цей показник набув найменших значень (кукурудза на зелену масу 326–304 і 106–95; пшениця озима 224–235 і 98–99; ячмінь ярий 327 і 175 / гречка 245 і 130; соя 165–194 і 78–102; пшениця озима 226–239 і 97–101 шт./м^2). Така ж закономірність спостерігається щодо вегетативної маси експрелентів: в посівах кукурудзи на зелену масу вона складала 102,1–97,7; пшениці озимої 67,0–70,0 ячменю ярого 109,6 / гречки – 117,3; сої 111,4–122,8; пшениці озимої – 67,6–73,1 г/м^2.

Конкурентні взаємовідносини культур і бур'янів показують, що застосування систем удобрення сприяє зростанню "тиску" культур на бур'яни. За традиційної системи удобрення співвідношення маси культури і бур'янів набувають вищих значень в кукурудзі на зелену масу 22,8–25,2; пшениці озимої – 19,4–21,3; ярого ячменю – 5,3 / гречки – 5,8; сої – 10,6–11,0; пшениці озимої – 22,1–23,3.

Сумарний винос основних елементів живлення бур'яновою рослинністю в посівах сільськогосподарських культур в п'ятипільних сівозмінах є високим на удобрених варіантах однак найвищий при традиційній системі удобрення (кукурудза на зелену масу – 114,7–117,0 кг/га; пшениця озима – 79,8–81,1; ячмінь ярий –120,2 / гречка – 177,8; соя – 178,6–189,7; пшениця озима 81,0–81,4 кг/га.

Найменший відсоток зниження врожаю сільськогосподарських культур у п'ятипільних зерно-просапних сівозмінах відмічена на варіантах традиційної системи удобрення 7,4 в посівах кукурудзи на зелену масу, 7,0 (пшениця озима), 12,7 (ячмінь ярий) / 11,5 (гречка), 10,4–10,8 (соя), 6,6 в посівах пшениці озимої.

Наукове видання

Монографія

Оксана Качмар
Оксана Вавринович
Олександр Дубицький
Ангеліна Дубицька
Марія Щерба
Олександр-Ярослав Процайло
Галина Скорохід
Любов Ростинюк

Наукові підходи до оптимізації сівозмін
в сучасних системах землеробства

ISBN 978-617-95314-4-6

Формат 30х42/4. Тираж 300 пр. Ум. друк. арк. 10,26
Видавець та виготовлювач:
Інститут сільського господарства Карпатського регіону
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 7457 від 28.09.2021 р.