

Польовий В. М., д.с.-г.н., професор (Інститут сільського господарства Західного Полісся, с. Шубків, rivne_apv@ukr.net), **Ященко Л. А., к.с.-г.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, l.a.yashchenko@nuwm.edu.ua), **Голуб С. М., к.с.-г.н., доцент** (Волинський національний університет імені Лесі Українки, Golub.Sergiy@vnu.edu.ua), **Кутуза Д. М., студент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, kutuza_az21@nuwm.edu.ua)

УРОЖАЙНІСТЬ ТРАДИЦІЙНИХ КУЛЬТУР ПОЛІССЯ ПІД ВПЛИВОМ ДИНАМІКИ ОБМІННОЇ КИСЛОТНОСТІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ У ЧАСІ ЗА РІЗНИХ ДОЗ CaCO_3

Наведено результати досліджень із вивчення впливу рівнів обмінної кислотності ($\text{pH}_{\text{КСІ}}$) дерново-підзолистого ґрунту, одержаних за внесення різних доз вапна, на врожайність культур восьмипільної традиційної сівозміни Полісся. Дози внесення вапна (0,5–2,0 Нг CaCO_3 , що еквівалентно 1,8–7,0 т/га) значно підвищували рН ґрунту з початкового діапазону 4,6–4,8 до кінцевого діапазону 6,1–7,6 протягом перших трьох років. Однак рН ґрунту продемонстрував тенденцію до повторного закислення до кінця експерименту, з остаточними значеннями від 4,9 до 6,5. Реакція культур на вапнування значно варіювала. Урожайність картоплі залишилася незмінною в межах випробуваного діапазону рН (4,4–7,4), тоді як вико-вівсяна зелена маса (рН 5,7), озиме жито (рН 5,8), льон (рН 5,6), кормові буряки (рН 7,3), ярий ячмінь (рН 5,3), конюшина лучна (рН 5,9) та озима пшениця (рН 6,3) показали найвищі врожаї за цих оптимізованих умов рН. Порівняно з контрольними ділянками, приріст врожайності сільськогосподарських культур становив від 0% до 120% по досліджуваних культурах за різних темпів вапнування. Найбільш суттєве зростання врожайності спостерігалось у кормових буряків (120%) та озимій пшениці (42%). Ці результати підкреслюють важливість врахування оптимуми рН для конкретних культур і відповідного коригування норм вапнування. Оптимізація рН ґрунту відповідно до вимог сільськогосподарських культур може призвести до значного підвищення їхньої врожайності.

Ключові слова: урожайність; обмінна кислотність; вапно; норма; післядія.

Постановка проблеми. Окрім наявності вологи та вмісту поживних речовин, наукові дослідження та практичний досвід показали, що реакція ґрунтового розчину, також відома як рН ґрунту, відіграє вирішальну роль у визначенні врожайності сільськогосподарських культур та загальної родючості ґрунту [1].

В Україні значна частина земель потерпає від кислотності ґрунтів. Приблизно 10,3 млн га, що становить 26,3% від загальної площі орних земель віднесені до кислих ґрунтів. Ця проблема особливо поширена в зонах Лісостепу та Полісся, де майже половина земель (49,7% та 47,4% відповідно) має кислотні характеристики [2]. Прикладом цього є Рівненська область, де 32,6% загальної площі ріллі віднесено до кислих, починаючи від дуже сильнокислих (9%) і закінчуючи слабокислими (12,0%) [3].

Закислення ґрунту можна пояснити як природними процесами, такими як кругообіг вуглецю, азоту та сірки, так і діяльністю людини. Меліорація земель шляхом вапнування є цінним інструментом для боротьби з цією проблемою та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва [4].

Вапнування, яке часто поєднується з внесенням добрив, є широко прийнятою практикою для вирішення проблеми кислотності ґрунту. Це сприяє вирішенню кількох проблем: підвищує рН ґрунту та врожайність сільськогосподарських культур, поповнює запаси поживних речовин і пом'якшує негативний вплив кислотності ґрунту на загальну родючість [5]. При роботі з кислими ґрунтами вапнування в поєднанні з внесенням добрив стає важливим у досягненні та підтримці конкурентоспроможного сільськогосподарського виробництва. Внесення вапна пропонує чимало переваг, включаючи покращення доступності поживних речовин для рослин, зменшення шкідливого впливу алюмінію на кореневу систему рослин, підвищення активності мікроорганізмів у ґрунті та максимізацію ефективності використання добрив [6].

Важливо визнати, що різні культури демонструють різний ступінь толерантності до кислотності ґрунту, що призводить до різних реакцій на внесення вапна [7]. При впровадженні стратегій меліорації для кислих ґрунтів важливо враховувати конкретні вимоги культур, що вирощуються, щодо рН ґрунту. Деякі культури добре пристосовані до кислого середовища і можуть досягти оптимальної врожайності навіть при більш низькому рівні рН. Дослідження

демонструють цю концепцію, оскільки овес і картопля показали мінімальну залежність врожайності від рівня рН ґрунту [8]. Хоча деякі дослідники припускають, що вапнування може принести користь урожаю картоплі [9] і створити мінімальний ризик розвитку поширеної хвороби парші (*Streptomyces* spp.) [10]. Проте, більшість культур демонструють позитивну реакцію врожайності на вапнування в умовах кислого ґрунту. Однак оптимальний діапазон рН для кожної культури може значно відрізнятися залежно від конкретного типу ґрунту [11].

Унікальною характеристикою деяких вапняних матеріалів є їх здатність сприяти підвищенню врожайності культур після одноразового внесення, при чому ці ефекти зберігаються протягом тривалого періоду. Дослідження Польового В. М. показують, що вплив вапнування на врожайність можна спостерігати через 7–8 років після внесення [12]. Враховуючи цей відстрочений ефект, оцінка реакції культур на вапнування повинна зосереджуватися не лише на кількості внесеного вапна, а й враховувати ступінь зміни кислотності ґрунту в результаті післядії внесення.

Метою цього дослідження є аналіз тривалості впливу різних норм вапна на динаміку ґрунтового обміну, кислотності та реакцію сільськогосподарських культур на відповідні зрушення рівня рН. Щоб зберегти принцип єдиної змінної, дослідження зосереджується на даних першого восьмирічного циклу сівозміни культур у межах довгострокового експерименту. Такий вибір зумовлений тим, що в наступних сівозмінах ґрунт на різних ділянках зазнавав варіацій не тільки обмінної кислотності (основний фокус дослідження), а й інших агрохімічних показників, які суттєво впливають на продуктивність сільськогосподарських культур.

Методика досліджень. Дослідження проведено у стаціонарному досліді Інституту сільського господарства Західного Полісся (раніше Рівненська ДСГДС) на дерново-підзолистому ґрунті, який на початок досліджень характеризувався наступними показниками: дуже низьким умістом гумусу 1,2%, середнім рівнем забезпеченості рухомими сполуками фосфору (62,0 мг/кг ґрунту) і калію (75,0 мг/кг ґрунту). Реакція ґрунтового розчину посівних ділянок кожного варіанту характеризувалася слабокислою реакцією у межах pH_{KCl} 4,6–4,8 од., гідролітичної кислотності (Нг) 2,23–2,48 ммоль/100 г ґрунту.

Сівозміна включала культури традиційні для зони Полісся: картопля – однорічні трави – озиме жито – льон-довгунець – буряк кормовий – ячмінь ярий з підсівом багаторічних трав – конюшина червона – пшениця озима. Розмір посівної площі складав 198 м² (33×6), облікової площі – 100 м² (25×4). Повторність досліду триразова. Мінеральні добрива були внесені у формі аміачної селітри, гранульованого суперфосфату та хлористого калію під культури сівозміни згідно схеми досліду (таблиця). Гній ВРХ вносили двічі за ротацію сівозміни під картоплю (50 т/га) і буряк кормовий (80 т/га). Із розрахунку на гектар сівозмінної площі вносилося 16 т/га гною та мінеральні добрива в дозі N₅₅P₆₈K₇₅. Облік урожаю культур проводили поділяючно суцільним зважуванням.

Хімічну меліорацію здійснювали вапном перед закладанням досліду (83,7–92,1% CaCO₃). Розрахунок фізичної дози внесення проводили за гідролітичною кислотністю ґрунту кожної дослідної ділянки. Були внесені наступні відповідні дози вапна: 0,5 Нг CaCO₃ (1,8 т/га); 1,0 Нг CaCO₃ (3,6 т/га); 1,5 Нг CaCO₃ (5,5 т/га); 2,0 Нг CaCO₃ (7,0 т/га).

Результативність отриманих даних була перевірена методом однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) для обґрунтування ефективності використання різних норм вапна під досліджувані культури. Значимість ефектів визначали за допомогою критерію Фішера при $p \leq 0,05$. Регресійний аналіз досліджував взаємозв'язок між змінами кислотності ґрунту (рН_{KCl}) та врожайністю сільськогосподарських культур у сівозміні за різних норм вапна за удобрення сільськогосподарських культур. Цей аналіз дав уявлення про те, як коригування норм внесення вапна вплинуло на кислотність ґрунту і в результаті на врожайність культур у контексті сівозміни.

Результати досліджень та обговорення. Вапнування значно підвищило рН ґрунту на всіх оброблених ділянках у порівнянні з контролем (без вапна). Цей ефект залежав від дози вапна, причому вищі дози внесення вапна призводили до більшого підвищення рН. Застосування 1,5 та 2,0 Нг CaCO₃ призвело до найвищого рівня рН (7,04 та 7,57), тоді як внесення 0,5 Нг CaCO₃ призвело до найменшого зміщення рН (5,13 та 6,12 рН) під різними культурами (таблиця).

Залежно від доз вапна найбільша нейтралізація обмінної кислотності у шарі ґрунту 0–20 см порівняно з вихідними даними відзначалась у першій – третій роки після його застосування (рис. 1). При цьому, якщо у перший рік рН_{KCl} за 0,5 і 1,0 дози CaCO₃ на фоні удобрення змістився на 1,52–1,62 од., то внесення 1,5–2,0 дози CaCO₃

збільшило величину зміщення до 2,65–2,75 од. у сторону нейтралізації кислотності. Тривалий нейтралізуючий ефект вапна, максимум післядії якого наставав у третій рік, для 0,5 дози CaCO_3 ($\Delta\text{pH}_{\text{KCl}}$ 1,2 од.) був істотно нижчим порівняно з іншими дозами, який для 1,0–2,0 доз CaCO_3 становив $\Delta\text{pH}_{\text{KCl}}$ 2,38–2,95 од. Із часом дія меліоранта знижувалася і відбулося повторне підкислення ґрунту відповідно до pH_{KCl} 4,9; 5,9; 6,3 і 6,5 од. залежно від дози CaCO_3 . Наші дані узгоджуються з висновками [19], де спостерігали найбільш значне зниження кислотності ґрунту протягом перших 3-х років після внесення вапна на 3–6 т/га. Однак термін дії застосування вапна може тривати понад 3 роки. Як запропонували [14], максимальна реакція вапнування спостерігається через чотири роки після внесення, іноді триває до восьми років, залежно від культури та типу ґрунту.

Застосування гною під картоплю і буряк кормовий у сівозміні сприяло динаміці pH_{KCl} у межах похибки досліду, тоді як внесення мінеральних добрив залежно від дози під культуру спричиняло істотну динаміку зміщення показника по роках від –0,32 до 0,24 од. як в сторону підкислення, так і нейтралізації.

Таблиця

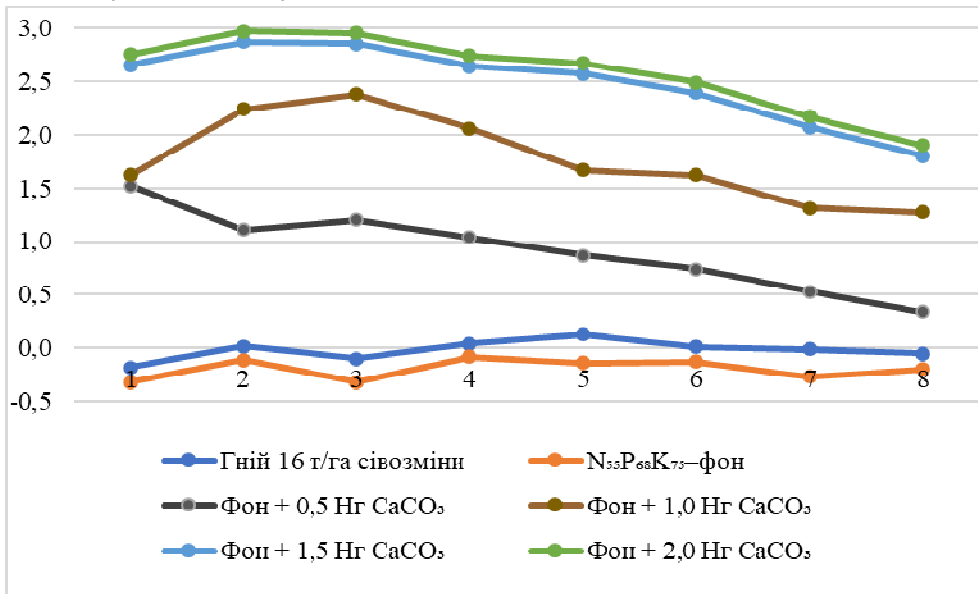
Обмінна кислотність (pH_{KCl}) за різних доз вапна та її вплив на врожайність (т/га) культур сівозміни

Варіант	Показники	Картопля	Вико-овес на з/к	Жито озиме	Льон-довгунець (солома/насіння)	Буряк кормовий	Ячмінь ярий	Конюшина лучна	Пшениця озима
		гній (50 т/га) + N90P60K90	N60P60K60	N40P60K60	N30P60K90	гній (80 т га ⁻¹) + N120P120K120	N40P60K60	P60K60	N60P60K60
Гній 16 т/га сівозміни (контроль)	урож. pH (4,8*)	18,7 4,52	16,7 4,72	2,29 4,60	2,75/0,43 4,74	30,0 4,83	1,82 4,71	26,4 4,69	2,65 4,65
N ₅₅ P ₆₈ K ₇₅ –фон	урож. pH (4,7*)	21,5 4,38	24,4 4,59	2,69 4,38	3,63/0,64 4,62	38,4 4,56	2,38 4,57	30,2 4,43	2,62 4,50

продовження таблиці

Фон + 0,5 дози CaCO ₃	урож. рН (4,6*)	22,0 6,12	27,8 5,71	2,76 5,80	4,31/0,66 5,64	65,5 5,47	3,34 5,34	37,7 5,13	3,39 4,94
Фон + 1,0 дози CaCO ₃	урож. рН (4,6*)	22,6 6,22	27,4 6,84	2,69 6,98	4,52/0,71 6,66	76,8 6,27	3,28 6,22	39,6 5,91	3,54 5,87
Фон + 1,5 дози CaCO ₃	урож. рН (4,6*)	21,8 7,35	27,7 7,27	2,81 7,16	4,48/0,72 7,04	84,6 7,34	3,36 6,91	39,9 6,62	3,73 6,33
Фон + 2,0 дози CaCO ₃	урож. рН (4,7*)	21,7 7,35	27,3 7,57	2,70 7,55	4,01/0,69 7,34	82,4 7,27	3,34 7,09	39,6 6,77	3,54 6,50
НІР ₀₅	урож.	2,19	1,91	0,59	0,17/0,36	1,63	0,21	1,17	0,14
	рН	0,13	0,26	0,19	0,22	0,23	0,11	0,24	0,14

 Примітка – *вихідний показник рН_{ккл} ґрунту дослідних ділянок

 Примітка: 1–8 рік післядії доз CaCO₃

 Рис. 1. Динаміка показників обмінної кислотності ($\Delta p\text{H}_{\text{ккл}}$) ґрунту до вихідних даних протягом восьмирічного періоду вирощування культур сівозміни

Встановлення за результатами досліджень ступенів нейтралізації ґрунтової кислотності та закономірності повторного підкислення ґрунту в часі за внесення різних доз CaCO₃ може служити надійним науковим підґрунтям для встановлення оптимальних їх доз, виходячи з вимог вирощуваних

сільськогосподарських культур до реакції ґрунтового середовища та визначення їх черговості вирощування на полі після вапнування з тим, щоб вона у такий рік була для них найбільш сприятливою.

Створення експериментальних ділянок з широким діапазоном рівнів кислотності, що обмінюються ґрунтом, надало цінну платформу для дослідження потенціалу оптимізації практик вапнування для різних сільськогосподарських культур. Такий підхід гарантує, що рН ґрунту підтримується на рівнях, які підтримують оптимальний ріст сільськогосподарських культур та врожайність.

Картопля. Вирощувалась першою культурою восьмипільної сівозміни у перший рік після вапнування ґрунту за інтервалу pH_{KCl} 4,38–7,35. Картопля краще реагувала на удобрення ніж на вапно на фоні мінеральних добрив. Якщо на фоні 50 т/га гною врожайність бульб становила 18,7 т/га, то за додаткового внесення $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$ приріст урожайності становив 2,8 т/га. За зміщення реакції ґрунту внаслідок дії різних доз вапна на фоні попереднього удобрення до pH_{KCl} 6,12–7,35 од. урожайність бульб становила 21,7–22,6 т/га, тобто приріст не перевищував істотної різниці досліду за $p=0,05$. Отримані дані свідчать, що картопля належить до малочутливих до кислотності ґрунту культур, і вапнування не впливало на її врожайність (рис. 2).

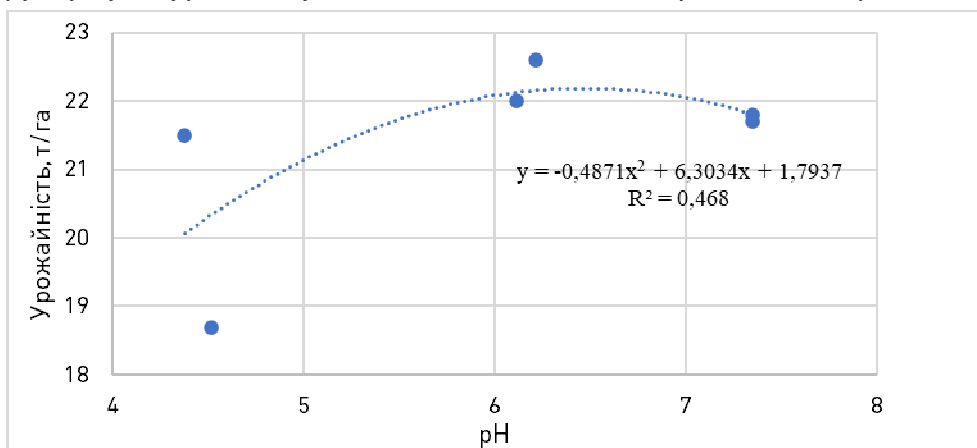


Рис. 2. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю бульб картоплі і pH_{KCl} ґрунту

Вика+овес на зелений корм. Для вики оптимальною є слабокисла реакція ґрунту, тоді як овес може добре рости в широкому діапазоні рН (pH 5,0–7,5) [15]. Також підкреслено, що хоча рослини вівса мають діапазон толерантності до алюмінію (Al^{3+}), але вони краще справляються з кислим ґрунтом ніж інші зернові

культури [16].

Отримані експериментальні дані свідчать, що внесення на фоні післядії гною $N_{60}P_{60}K_{60}$ до pH_{KCl} 4,6 забезпечило врожайність зеленої маси 24,4 т/га, а за pH_{KCl} 5,7–7,6 од. – 27,3–27,8 т/га. Зміщення реакції ґрунту від pH_{KCl} 5,7 в бік лужної не супроводжувалось підвищенням врожайності (рис. 3).

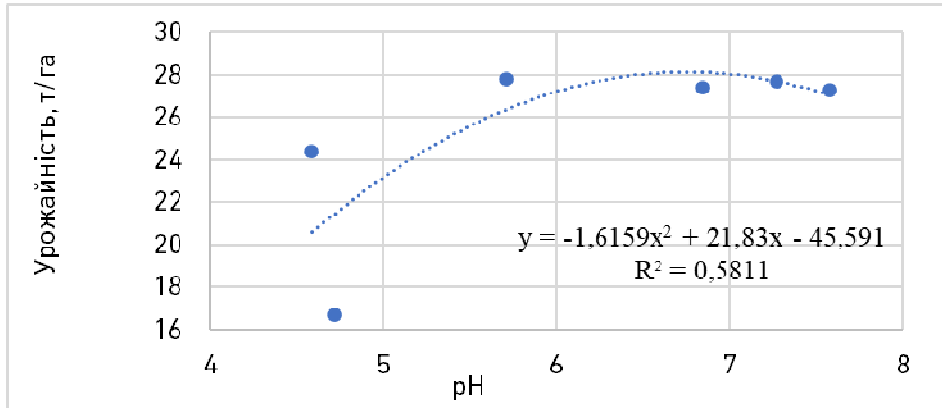


Рис. 3. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю зеленої маси вико-вівсяної сумішки і pH_{KCl} ґрунту

Жито озиме. Добре реагувало на покращення поживного режиму ґрунту, але було малочутливим до реакції ґрунтового розчину. За pH_{KCl} ґрунту 4,7 од. застосування під жито озиме $N_{40}P_{60}K_{60}$ сприяло підвищенню врожайності зерна до 2,69 т/га за 2,29 т/га на контролі, тобто на 17,5%.

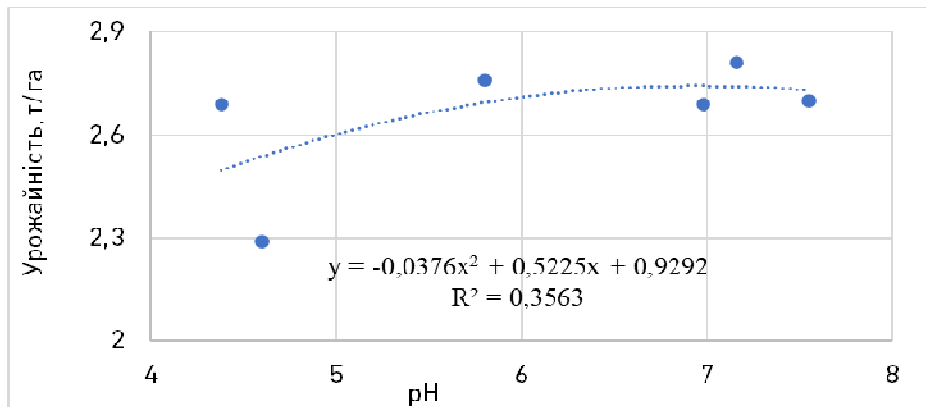


Рис. 4. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю зерна жита озимого і pH_{KCl} ґрунту

Нейтралізація кислотності ґрунту різними дозами вапна до pH_{KCl} 5,8–7,6 не забезпечувала підвищення врожайності порівняно з $N_{40}P_{60}K_{60}$, яка варіювала в межах 2,69–2,81 т/га (рис. 4).

Льон-довгунець. Льон вважається стійкою до кислотності ґрунту культурою, але дуже чутливою до токсичної дії іонів алюмінію. За літературними даними льон погано переносить високу концентрацію кальцію у ґрунтовому розчині [17].

Результати наших досліджень засвідчили, що льон позитивно реагував як на мінеральні добрива, так і вапнування. Внесення $N_{30}P_{60}K_{90}$ у варіанті без вапнування (pH_{KCl} вихідний 4,6) забезпечило підвищення врожайності соломки на 32%, а насіння – на 49% за врожайності на контролі відповідно 2,75 і 0,43 т/га. Зниження кислотності ґрунту до pH_{KCl} 6,7 на такому фоні удобрення сприяло зростанню врожайності соломки до 4,52 т/га, або на 24% порівняно з фоном. Проте за зміщення реакції ґрунту понад pH 7,3 відмічалось істотне зниження врожайності соломки (рис. 5, А). Врожайність насіння льону менше залежала від реакції ґрунту і у варіантах із вапнуванням не мала істотної різниці приросту урожаю насіння (рис. 5, Б). Це підтверджують отримані поліноміальні залежності урожайності і pH ґрунту, коефіцієнт кореляції для соломки 0,86 вказує на тісний зв'язок між досліджуваними чинниками.

Конюшина лучна. Досить добре реагувала на підживлення фосфорними і калійними добривами та зниження кислотності ґрунту. Внесення $P_{60}K_{90}$ за pH_{KCl} ґрунту 4,4; 5,7 і 5,9 сприяло підвищенню врожайності зеленої маси відповідно на 23; 43 і 50 % щодо контролю, де вона становила 26,4 т/га. Залежність урожайності конюшини від зміни pH ґрунту на рівні $R=0,90$ вказує на дуже тісний зв'язок між цими чинниками.

Буряк кормовий. Порівняно з іншими культурами сівозміни найкраще реагував на зниження кислотності ґрунту. Якщо за внесення 80 т/га гною і на його фоні $N_{120}P_{120}K_{120}$ урожайність коренеплодів без вапнування ґрунту становила відповідно 30,0 і 38,4 т/га, то за зміщення реакції ґрунту з pH_{KCl} 4,6 на фоні органічно-мінерального удобрення до pH_{KCl} 5,5; 6,3 і 7,3 за різних доз вапна вона підвищилась відповідно до 65,5; 76,8 і 84,6 т/га, або відповідно у 1,7;

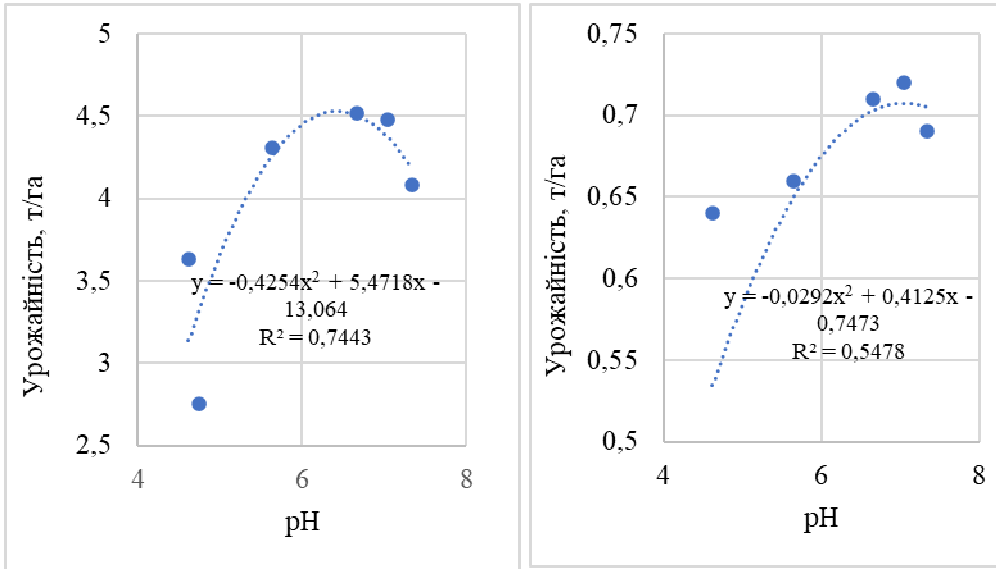


Рис. 5. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю соломки (А) і насінням (Б) льону-довгунця та pH_{KCl} ґрунту

2,0 і 2,2 рази. Поліноміальна залежність дозволила встановити тісний зв'язок між урожайністю культури і pH ґрунту у варіантах за коефіцієнта кореляції $R=0,96$ (рис. 7).

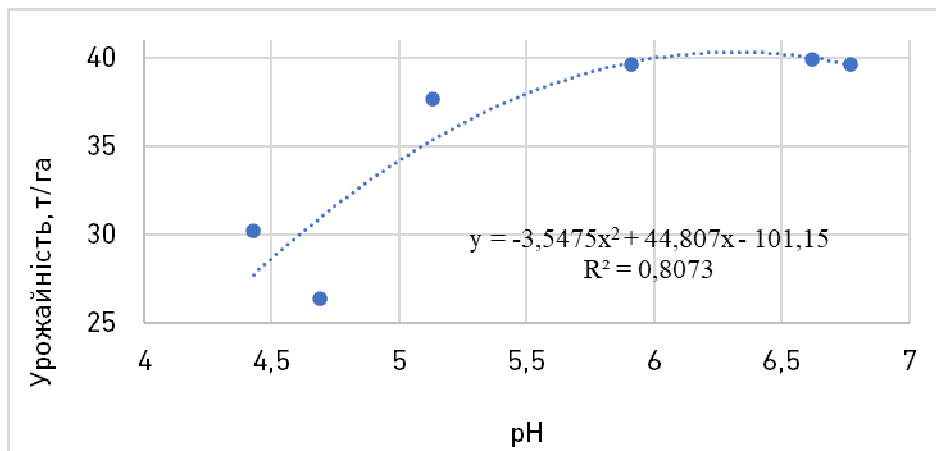


Рис. 6. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю конюшини лучної та pH_{KCl} ґрунту

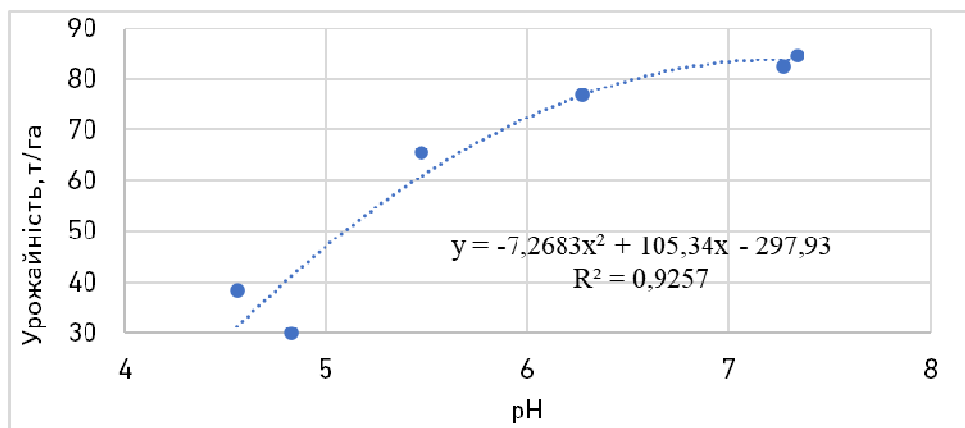


Рис. 7. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю буряка кормового та рН_{ксі} ґрунту

Ячмінь ярий. На фоні внесення $N_{40}P_{60}K_{60}$ за рН_{ксі} ґрунту 4,6 врожайність підвищилась до 7,38 т/га, або на 31% порівняно з контролем. За зміщення на фоні мінерального удобрення реакції ґрунту до рН_{ксі} 5,3 врожайність зерна зростає до 3,34 т/га, але подальше зниження кислотності до рН_{ксі} 6,2; 6,9 і 7,1 не супроводжувалось її підвищенням. Аналогічно, високі норми вапна (6,85 та 8,22 т·га⁻¹) не спричинили пропорційного збільшення врожайності ячменю в експерименті, незважаючи на значне підвищення рН ґрунту [18].

Пшениця озима. Належить до найбільш вимогливих до реакції ґрунту культур. За результатами наших досліджень була єдиною з культур сівозміни, яка не відгукувалась на внесення мінеральних добрив за дуже кислої реакції ґрунту. У варіанті дослід з внесенням $N_{60}P_{60}K_{60}$ за рН_{ксі} 4,5 врожайність зерна становила 2,62 т/га, а на контролі – 2,65 т/га. Зміщення на фоні мінерального удобрення реакції ґрунту за рахунок післядії 8-го року вапнування до рН_{ксі} 4,9; 5,9 і 6,3 сприяло підвищенню врожайності відповідно до 3,39; 3,54 і 3,73 т/га, або на 28; 34 і 41% по відношенню до контролю, проте доведення рН_{ксі} ґрунту до 6,5 не приводило до істотного збільшення врожайності. Проте поліноміальна залежність вказує на тісний зв'язок між рівнем рН і урожайністю зерна пшениці озимої, коефіцієнт кореляції $R=0,95$ (рис. 8).

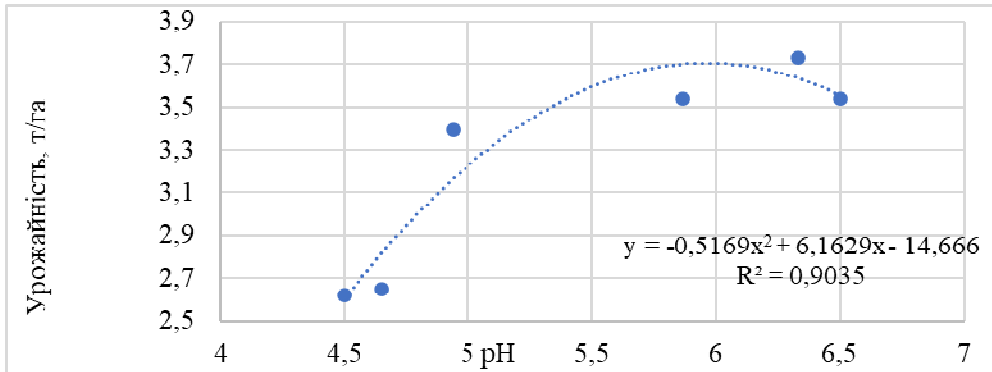


Рис. 8. Поліноміальна залежність (2 ступеня) між урожайністю зерна пшениці озимої та рН_{ксі} ґрунту

Ґрунтуючись на початковій ефективності, що спостерігалася протягом перших 3 років, дослідження показують, що переваги застосування вапна можуть виходити за межі цього терміну. Таким чином, моніторинг рН ґрунту та врожайності сільськогосподарських культур у часі забезпечує більш повну оцінку реакції на поверхневе внесення вапна. Це підкреслює важливість врахування довгострокового впливу вапнування та впровадження стратегій для підтримки оптимального рН ґрунту для сталої продуктивності сільськогосподарських культур.

Висновки. Результати досліджень свідчать про те, що адаптація кислотності ґрунту для досягнення оптимального діапазону рН для конкретної культури (5,3–7,3 рН_{ксі} у цьому дослідженні) може бути ефективною стратегією для покращення продуктивності сільськогосподарських культур на подібних типах ґрунтів.

1. За вапнування дерново-підзолистого піщаного ґрунту 0,5; 1,0; і 2,0 дозами CaCO₃, розрахованих за гідролітичною кислотністю (Нг) для кожного варіанта, рівень рН_{ксі} ґрунтового розчину змінювався впродовж восьмирічного періоду відповідно у межах 6,1–4,9; 7,0–5,9; 7,4–6,3 і 7,6–6,5 за вихідного 4,6–4,8. На практиці при виборі найбільш раціональної дози вапна насамперед слід керуватись вимогами до реакції ґрунту вирощуваних культур та економічною доцільністю.

2. Результати проведених досліджень засвідчили, що на фоні удобрення найвищі статистично підтверджені прирости врожайності культури сівозміни отримані за рН_{ксі} ґрунту, од.: вико-вівсяна сумішка

– 5,7; жито озиме – 5,8; льон-довгунець – 5,6; буряк кормовий – 7,3; ячмінь ярий – 5,3; конюшина лучна – 5,1; пшениця озима – 6,3. Картопля не реагувала на зміну реакції ґрунту в межах 4,4–7,4 рН_{КСІ}.

3. Істотні прирости врожайності культур сівозміни до фонів, передбачених програмою досліджень систем їх удобрення, від оптимізації кислотності ґрунту становили, %: картопля – 0; вико-вівсяна сумішка – 14; жито озиме – 0; льон-довгунець 24 (соломка), 11 (насіння); буряк кормовий – 120; ячмінь ярий – 40; конюшина лучна – 25; пшениця озима – 42.

Результати досліджень свідчать про те, що адаптація кислотності ґрунту для досягнення оптимального діапазону рН для конкретної культури (5,3–7,3 рН_{КСІ} у цьому дослідженні) може бути ефективною стратегією для покращення продуктивності сільськогосподарських культур на подібних типах ґрунтів.

1. Ходаківська О. В., Гладуненко Р. В., Корчинська С. Г., Ткачук Л. П. Хімічна меліорація кислих ґрунтів: організаційно-економічні заходи та сучасні технологічні рішення. *Економіка АПК*. 2021. № 4. С. 40–50. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202104040>. 2. Ткаченко М., Борис Н. Оптимізація живлення сільськогосподарських культур за фізико-хімічної деградації кислих ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 99 (1). С. 15–22. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02>. 3. Крупко Г. Динаміка кислотності ґрунтів Рівненської області. *Scientific Collection «InterConf»*. 2022. Вип. 123. С. 236–240. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1266>. (дата звернення: 10.11.2024). 4. Holland J. E., White P. J., Glendining M. J., Goulding K. W. T., McGrath S. P. Yield responses of arable crops to liming – an evaluation of relationships between yields and soil pH from a long-term liming experiment. *Eur. J. Agron.* 2019. Вип. 105. С. 176–188. doi: 10.1016/j.eja.2019.02.016. 5. Tshiabukole J. P. K., Khonde G. P., Phongo A. M., Ngoma N., Vumilia R. K., Kankolongo A. M. Liming and mineral fertilization of acid soils in maize crop within the savannah of southwestern of democratic republic of Congo. *OALib*. 2022. Вип. 09 (03). С. 1–10. doi: 10.4236/oalib.1108412. 6. Enesi R. O., Dyck M., Chang S., Thilakarathna M. S., Fan X., Strelkov S., Gorim L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability—a meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*. 2023. Вип. 5. Р. 1194896. DOI: 10.3389/fagro.2023.1194896. 7. Прокопенко С. М., Міцай С. Г., Несін І. В. та ін. Ресурсозберігаючі прийоми меліорації кислих ґрунтів. *Охорона ґрунтів* : зб. наук. праць. 2022. Вип. 12. С. 197–205. URL: <https://www.iogu.gov.ua/literature/soil/14-%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%E2%84%96%2012>

%20(2022).pdf#page=197. (дата звернення: 10.11.2024). **8.** Holland J. E., Bennett A. E., Newton A. C., White P. J., McKenzie B. M., George T. S., et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. *In Sci. Total Environ.* 2018. Вип. 610–611. С. 316–332. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020. **9.** Jovovic Z., Dolijanovic Z., Spalevic V., Dudic B., Przulj N., Velimirovic A., Popovic V. Effects of Liming and Nutrient Management on Yield and Other Parameters of Potato Productivity on Acid Soils in Montenegro. *Agronomy.* 2021. Вип. 11(5). С. 980. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050980>. **10.** Waterer D. Incidence d'un pH élevé du sol sur le rendement de la pomme de terre et les pertes attribuables à la gale commune. *Can. J. Plant Sci.* 2002. Вип. 82. С. 583–586. URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/P01-046>. (дата звернення: 10.11.2024). **11.** Польовий В. М., Лукащук Л. Я., Лаврук М. М. Реакція пшениці озимої на удобрення залежно від кислотності дерново-підзолистого ґрунту. *Вісник аграрної науки.* 2012. № 3. С. 18–21. **12.** Polovuу V., Hnativ P., Ivaniuk V., Vaha N., Parkhuts B., Yuvchik N., Avhustynovych M. Effects of lime and fertiliser on productivity of Albic Retisols. *International Journal of Environmental Studies.* 2023. Вип. 80(2). С. 464–475. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179755>. **13.** Li Y., Cui S., Chang S., Zhang Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments.* 2019. Вип. 19. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>. **14.** Oliver Y. M., Gazey C., Fisher J., Robertson M. Dissection of the Contributing Factors to the Variable Response of Crop Yield to Surface Applied Lime in Australia. *Agronomy.* 2021. Вип. 11(5). С. 829. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050829>. **15.** Glovin N. M., Martinenko Z. O. Study of the causes of the occurrence and influence of soil acidity on the yield of agricultural crops agricultural holdings of Ternopol region. *Colloquium-journal.* 2022. Вип. 17(140). С. 54–58. URL: <https://colloquium-journal.org/wp-content/uploads/2022/07/Colloquium-journal-2022-140-1.pdf> (дата звернення: 10.11.2024). **16.** Nava I. C., Delatorre C. A., de Lima Duarte I. T., Pacheco M. T. Inheritance of Aluminum Tolerance and its Effects on Grain Yield and Grain Quality in Oats (*Avena Sativa* L.). *Euphytica.* 2006. Вип. 148. С. 353–358. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9048-5>. **17.** Tkachenko M. A., Kondratiuk I. M., Borys N. E. Chemical reclamation of acidic soils : monograph. Vinnytsia : Tvory LLC, 2019. 318 p. URL: https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/monografiya_himichna-melioratsiya-kislih-gruntiv_2019.pdf. (дата звернення: 10.11.2024). **18.** Haile G., Berihun H., Abera H., Agegnehu G., Lemenih M. Soil properties, crop yield, and economic return in response to lime application on acidic nitisols of Southern Highlands of Ethiopia. *International Journal of Agronomy.* 2023. P. 6105725. DOI:10.1155/2023/6105725.

REFERENCES:

1. Khodakivska O. V., Hladunenکو R. V., Korchyńska S. H., Tkachuk L. P. Khimichna melioratsiia kyslykh gruntiv: orhanizatsiino-ekonomichni zakhody ta suchasni tekhnolohichni rishennia. *Ekonomika APK*. 2021. № 4. S. 40–50. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202104040>.
2. Tkachenko M., Borys N. Optyimizatsiia zhyvlennia silskohospodarskykh kultur za fizyko-khimichnoi dehradatsii kyslykh gruntiv. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. № 99 (1). S. 15–22. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202101-02>.
3. Krupko H. Dynamika kyslotnosti gruntiv Rivnenskoï oblasti. *Scientific Collection «InterConf»*. 2022. Vyp. 123. S. 236–240. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/1266>. (data zvernennia: 10.11.2024).
4. Holland J. E., White P. J., Glendining M. J., Goulding K. W. T., McGrath S. P. Yield responses of arable crops to liming – an evaluation of relationships between yields and soil pH from a long-term liming experiment. *Eur. J. Agron.* 2019. Vyp. 105. S. 176–188. doi: 10.1016/j.eja.2019.02.016.
5. Tshiabukole J. P. K., Khonde G. P., Phongo A. M., Ngoma N., Vumilia R. K., Kankolongo A. M. Liming and mineral fertilization of acid soils in maize crop within the savannah of southwestern of democratic republic of Congo. *OALib*. 2022. Vyp. 09 (03). S. 1–10. doi: 10.4236/oalib.1108412.
6. Enesi R. O., Dyck M., Chang S., Thilakarathna M. S., Fan X., Strelkov S., Gorim L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis. *Frontiers in Agronomy*. 2023. Vyp. 5. P. 1194896. DOI10.3389/fagro.2023.1194896.
7. Prokopenko S. M., Mitsai S. H., Nesin I. V. ta in. Resursozberihaiuchi pryiomy melioratsii kyslykh gruntiv. *Okhorona gruntiv : zb. nauk. prats*. 2022. Vyp. 12. S. 197–205. URL: [https://www.iogu.gov.ua/literature/soil/14-%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%E2%84%96%2012%20\(2022\).pdf#page=197](https://www.iogu.gov.ua/literature/soil/14-%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%20%E2%84%96%2012%20(2022).pdf#page=197). (data zvernennia: 10.11.2024).
8. Holland J. E., Bennett A. E., Newton A. C., White P. J., McKenzie B. M., George T. S., et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. *In Sci. Total Environ.* 2018. Vyp. 610–611. S. 316–332. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.020.
9. Jovovic Z., Dolijanovic Z., Spalevic V., Dudic B., Przulj N., Velimirovic A., Popovic V. Effects of Liming and Nutrient Management on Yield and Other Parameters of Potato Productivity on Acid Soils in Montenegro. *Agronomy*. 2021. Vyp. 11(5). S. 980. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050980>.
10. Waterer D. Incidence dun pH élevé du sol sur le rendement de la pomme de terre et les pertes attribuables à la gale commune. *Can. J. Plant Sci.* 2002. Vyp. 82. S. 583–586. URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/P01-046>. (data zvernennia: 10.11.2024).
11. Polovyi V. M., Lukashchuk L. Ya., Lavruk M. M. Reaktsiia pshenytsi ozymoi na udobrennia zalezho vid kyslotnosti dernovo-pidzolystoho gruntu. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2012. № 3.

S. 18–21. **12.** Polovyy V., Hnativ P., Ivaniuk V., Vaha N., Parkhuts B., Yuvchik N., Avhustynovych M. Effects of lime and fertiliser on productivity of Albic Retisols. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vyp. 80(2). S. 464–475. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2179755>. **13.** Li Y., Cui S., Chang S., Zhang Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*. 2019. Vyp. 19. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>. **14.** Oliver Y. M., Gazey C., Fisher J., Robertson M. Dissection of the Contributing Factors to the Variable Response of Crop Yield to Surface Applied Lime in Australia. *Agronomy*. 2021. Vyp. 11(5). S. 829. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050829>. **15.** Glovin N. M., Martinenko Z. O. Study of the causes of the occurrence and influence of soil acidity on the yield of agricultural crops agricultural holdings of Ternopol region. *Colloquium-journal*. 2022. Vyp. 17(140). S. 54–58. URL: <https://colloquium-journal.org/wp-content/uploads/2022/07/Colloquium-journal-2022-140-1.pdf> (data zvernennia: 10.11.2024). **16.** Nava I. C., Delatorre C. A., de Lima Duarte I. T., Pacheco M. T. Inheritance of Aluminum Tolerance and its Effects on Grain Yield and Grain Quality in Oats (*Avena Sativa* L.). *Euphytica*. 2006. Vyp. 148. S. 353–358. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-9048-5>. **17.** Tkachenko M. A., Kondratiuk I. M., Borys N. E. Chemical reclamation of acidic soils : monograph. Vinnytsia : Tvory LLC, 2019. 318 p. URL: https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2020/12/monografiya_himichna-melioratsiya-kislih-gruntiv_2019.pdf. (data zvernennia: 10.11.2024). **18.** Haile G., Berihun H., Abera H., Agegnehu G., Lemenih M. Soil properties, crop yield, and economic return in response to lime application on acidic nitisols of Southern Highlands of Ethiopia. *International Journal of Agronomy*. 2023. P. 6105725. DOI:10.1155/2023/6105725.

Polovyi V. M., Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Institute of Agriculture of Western Polissia of NAAS, vil. Shubkiv), **Yashchenko L. A., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor**, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), **Holub C. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor** (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk), **Kutuza D. M., Senior Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

YIELD OF TRADITIONAL CROPS IN THE POLISSIA REGION IS INFLUENCED BY THE DYNAMICS OF EXCHANGE ACIDITY IN SOD-PODZOLIC SOIL OVER TIME, DEPENDING ON VARYING RATES OF CaCO_3 APPLICATION

In Ukraine, approximately 10.3 million hectares (26.3% of total arable land) are classified as acidic soils. In the Rivne region, 32.6% of total arable land is classified as acidic, ranging from very strongly acidic (9%) to slightly acidic (12%). The objective of this study is to analyze the duration of the effect of different lime rates on the dynamics of soil exchange acidity and crop response to corresponding shifts in pH levels. An eight-year field experiment investigated the impact of varying lime (CaCO_3) application rates on soil acidity (pH) and crop yields in sod-podzolic soil. Mineral fertilizers (ammonium nitrate, granulated superphosphate, and potassium chloride) were applied under each crop in the rotation according to the experimental scheme. Cattle manure was applied to potatoes (50 t ha^{-1}) and fodder beet (80 t ha^{-1}). The crop rotation area saturation was 16 t ha^{-1} of manure and $\text{N}_{55}\text{P}_{68}\text{K}_{75}$ of mineral fertilizer. Crop yields were determined by separate-plot weighing.

Before starting the experiment, chemical amelioration was carried out with lime (83.7–92.1% CaCO_3). The physical application rate of lime was calculated based on the soil's hydrolytic acidity (Hh). The following lime doses (t ha^{-1}) were applied: 0.5 Hh CaCO_3 (1.8 t ha^{-1}); 1.0 Hh CaCO_3 (3.6 t ha^{-1}); 1.5 Hh CaCO_3 (5.5 t ha^{-1}); 2.0 Hh CaCO_3 (7.0 t ha^{-1}).

Lime application rates (0.5–2.0 Hh CaCO_3 , equivalent to $1.8\text{--}7.0 \text{ t ha}^{-1}$) significantly increased soil pH from an initial range of 4.6–4.8 to a final range of 6.1–7.6 within the first three years.

However, soil pH exhibited a tendency to re-acidify by the experiment's end, with final values ranging from 4.9 to 6.5. Crop responses to liming varied considerably. Potato yield remained unaffected within the tested pH range (4.4–7.4), while vetch-oat green mass (pH 5.7), winter rye (pH 5.8), flax (pH 5.6), fodder beet (pH 7.3), spring barley (pH 5.3), meadow clover (pH 5.9), and winter wheat (pH 6.3) achieved their highest yields under these optimized pH conditions. Compared to control plots, crop yield increases ranged from 0% to 120% across the studied crops under different liming rates. The most substantial yield increases were observed for fodder beet (120%) and winter wheat (42%).

These results underscore the importance of considering crop-specific pH optima and tailoring liming rates accordingly. Optimizing soil pH to match crop requirements can lead to substantial yield enhancements for various agricultural crops.

Keywords: crop yield; exchangeable acidity; lime; rate; aftereffect.