DOI: [https://www.doi.org/10.32636/01308521.2018-\(64\)-11](https://www.doi.org/10.32636/01308521.2018-(64)-11)

УДК 502.56/568:631.812.12

І. С. ТИМЧУК, кандидат сільськогосподарських наук

М. С. МАЛЬОВАНІЙ, доктор технічних наук

Національний університет “Львівська політехніка”

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, e-mail: i.s.tymchuk@gmail.com

К. І. ЯЦУХ, кандидат біологічних наук

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл., 81115,

e-mail: k.yatsukh@meta.ua

ВИКОРИСТАННЯ МІНЕРАЛЬНИХ КАПСУЛЬОВАНИХ ДОБРІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЖИВЛЕННЯ КАРТОПЛІ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

Представлено дані польових досліджень впливу різних видів мінеральних добрив на картоплю в агроєкосистемі. Встановлено вміст нітратів у досліджуваних коренеплодах. Здійснено аналіз розподілу гранульованих та капсульованих мінеральних добрив в досліджуваній агроєкосистемі. Визначено вплив різних видів новостворених капсульованих добрив порівняно із звичайним гранульованим на ріст і розвиток коренеплодів, а також на загальну

© Тимчук І. С., Мальований М. С., Яцух К. І., 2018

врожайність картоплі. Встановлено коефіцієнт ефективності використання для кожного виду добрив.

Ключові слова: ґрунт, капсульовані добрива, агроєкосистема, картопля, добрива.

Вступ. Проблема економного використання добрив завжди була актуальною. Втрати мінеральних добрив у процесі їх застосування – це колосальна кількість енергії, яка витрачається на їх виробництво, і недоотримана частина врожаю [16, 18]. Кожен відсоток зменшення втрат мінеральних добрив обертається мільйонами гривень економії [6, 9, 25, 31], збереженням значної кількості трудових, сировинних та енергетичних ресурсів, а також зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище [20, 23, 26].

Водорозчинні добрива найбільш легко засвоюються рослинами, однак унаслідок вимивання з ґрунту дощовими водами частина їх втрачається непродуктивно [14, 33]. Для створення в ґрунті запасу поживних речовин використовують мінеральні добрива довготермінової дії [12, 15, 27].

Сповільненого переходу будь-яких водорозчинних речовин до ґрунтового розчину можна досягнути покриттям гранул добрива плівками з високомолекулярних сполук (капсулюванням добрив), чи у випадку використання гранульованих добрив, отриманих з порошків з добавками з цих же сполук (наприклад, поліакриламід) чи речовин, що полімеризуються [3, 22, 30].

Проникні для води і водних розчинів полімерні плівки, що покривають гранули водорозчинних добрив, сповільнюють перехід поживних речовин до ґрунту більшою чи меншою мірою залежно від товщини і складу полімерної плівки. Непроникні плівки, знаходячись у ґрунті, мають з тією чи іншою швидкістю руйнуватися, після чого вміст добрива починає надходити до ґрунтового розчину. У цьому випадку відбувається процес регулювання не інтенсивності розчинення мінеральних добрив, а початок цього процесу [24, 29, 34].

Капсулювання – це технологічний процес поміщення частинки однієї речовини в оболонку з іншої речовини, інертної у відношенні до першої [31].

Капсулювання передбачає ізоляцію частинок капсульованої речовини від навколишнього середовища та одну від одної без регламентації структури, розмірів та форми складових елементів капсули – ядра та оболонки. Ізоляція частинок від навколишнього середовища та між собою створюється за допомогою дифузійної

перешкоди, яка утруднює або повністю виключає взаємодію капсульованої речовини з навколишнім середовищем [7, 37, 38].

Основний компонент капсули може знаходитися у будь-якому агрегатному стані [17]. Капсулювання застосовують для гідридів, солей кислот, основ, багатьох класів органічних сполук (моно- та високомолекулярних), які являють собою каталізатори, стабілізатори, пластифікатори, оливи, рідке та тверде паливо, розчинники, барвники, пестициди, добрива, лікарські препарати, ароматизатори, харчові добавки, волокна, ферменти та мікроорганізми [4, 10, 36]. До складу мікрокапсули може входити інертний наповнювач, який є середовищем, в якому диспергувалася речовина у процесі мікрокапсулювання, або потрібний для подальшого функціонування активної речовини. Вміст капсульованої речовини в мікрокапсулах звичайно становить 50–90 %, але може сягати і 95–98 % від маси капсули [19, 28, 33]. Ця величина може коливатися залежно від умов виготовлення, співвідношення кількості матеріалу оболонки і кількості речовини, яку капсулюють, та інших параметрів процесу: температури, ступеня диспергування, в'язкості середовища, наявності ПАР тощо [11, 19, 35].

Основним завданням капсулювання мінеральних добрив є регулювання швидкості вивільнення елементів живлення, але паралельно цим процесом можна поліпшити ряд основних фізичних характеристик мінерального добрива [5, 39].

Капсулювання добрива збільшує його міцність, а також зменшує гігроскопічність і злежуваність, що відповідно дає можливість зберігати його триваліший час без втрати якісних показників і значно зберегти витрати на зберігання і транспортування. Також поліпшується сипкість добрив, що забезпечує рівномірність їхнього внесення відповідною технікою [2, 32, 40].

Ми провели дослідження щодо впливу новостворених капсульованих мінеральних добрив на агроєкосистеми культурних рослин для визначення впливу цих добрив на ріст і розвиток рослин, а також на навколишнє середовище.

Матеріали і методи. Польові дослідження проводили згідно з методиками [8] на дослідних полях Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН.

Ґрунт – темно-сірий опідзолений глеюватий легкосуглинковий. Вміст гумусу – 2,9, рН = 5,8.

Попередник – озима пшениця.

Для дослідження використано сорт Щедрик – ранній столовий сорт картоплі, який отримали внаслідок схрещування багатовидового гібрида 85.291с12 із сортом Багряна. Період вегетації (від садіння до відмирання бадилля) становить 103 доби. Бульби сорту округлі, жовті, з білим м'якушем, квітки білі. Маса товарної бульби 100–110 г. Сорт також придатний для переробки на картоплепродукти. Смакові і якісні показники добрі – 4,1 бала. Характерною особливістю сорту Щедрик є висока посухостійкість.

Схема досліду передбачала внесення різних видів добрив і включала п'ять варіантів:

- 1) контроль (без добрив);
- 2) гранульоване добриво (нітроамофоска);
- 3) капсульоване добриво № 1 (10 % капсула, склад: полістирол, лігнін);
- 4) капсульоване добриво № 2 (10 % капсула, склад: полістирол, лігнін, цеоліт);
- 5) капсульоване добриво № 3 (10 % капсула, склад: лігнін, цеоліт).

Норма внесення кожного виду добрива – 0,8 т/га.

Капсулювання нітроамофоски здійснювали в апараті киплячого шару періодичної дії циліндрично-конічного типу з направляючим циліндром [13].

Облікова площа кожної ділянки – 25 м². Повторення – триразове. Густота насаджень – 50 тис. кущів на 1 га.

Період вегетації картоплі тривав з 30.04.2013 до 21.08.2013 р.

Результати та обговорення. Для оцінки впливу внесення надлишкової кількості добрив у агроєкосистему картоплі доцільно виконати аналіз динаміки рухомості елементів живлення, можливих міграцій за межі екосистеми (в гідросферу та атмосферу), вмісту нітратів у продукції. Динаміку переміщення елементів живлення та особливості їх вивільнення в системах “грунт – добриво” та “грунт – добриво – рослина” детально описано у попередніх публікаціях [21].

Встановлено, що вміст нітратів у бульбах картоплі залежав від виду застосовуваного добрива (табл. 1). Цей показник суттєво не змінювався у випадку застосування різних видів добрив, що, ймовірно, пов'язано із незначною відмінністю в кількості засвоєних картоплею елементів живлення (рис. 1).

1. Середній уміст нітратів у бульбах картоплі, мг/кг

Вид добрива	Вміст нітратів	ГДК
Контроль	41,2	250
ГД	43,8	250
КД № 1	42,8	250
КД № 2	43,1	250
КД № 3	43,7	250

Ми здійснили аналіз розподілу гранульованих та капсульованих мінеральних добрив в агроecosистемі, дані розрахунків наведено на рис. 1.

Як видно із рис. 1, у варіанті застосування капсульованих добрив в агроecosистемі картоплі їх засвоєння рослинами збільшується на 4,4 % (за рахунок пролонгованого вивільнення із оболонки), що зменшує ризик "голодування" рослин у період активного вимивання добрив ґрунтовими та поверхневими водами. Одночасно втрати в гідросферу та атмосферу у варіанті застосування капсульованих добрив зменшуються на 106,3 кг/га, що на 47,4 % менше, ніж за використання звичайних мінеральних добрив.

Рис. 1. Баланс використання мінеральних добрив (гектарна норма) в агроecosистемі

Проведено польові випробування впливу капсульованих мінеральних добрив на розвиток та врожайність картоплі в агроєкосистемі. Аналіз отриманих результатів свідчить, що врожайність картоплі у варіантах з капсульованими добривами була різною (рис. 2).

Приріст врожаю у варіанті застосування гранульованих добрив становив у середньому 13,64 т/га, тоді як і варіантах з капсульованим добривом – у середньому 17,71–31,02 т/га. Особливо слід відзначити результати на варіанті з капсульованим добривом № 2, на якому приріст врожаю порівняно до контролю становив 31,02 т/га (34 %).

Встановлено, що всі види капсульованих добрив забезпечують вищі результати завдяки рівномірному вивільненню елементів живлення. Оскільки кількість опадів на початку вегетаційного періоду була надмірною, це могло спричинити значне вимивання гранульованих добрив. Значне зменшення опадів у липні – серпні в поєднанні з нестачею елементів живлення спричиняло пригнічення росту і розвитку рослин картоплі на цьому варіанті.

Рис. 2. Вплив добрив на врожайність картоплі

Таким чином, за відповідних метеорологічних умов вегетаційного періоду 2013 р. картоплі сорту Щедрик оптимальне середовище для забезпечення елементами живлення створювало капсульоване добриво № 2, до складу оболонки якого, крім полістиролу, входив лігнін і природний сорбент.

Картопля – одна з найпоширеніших сільськогосподарських культур в Україні. Тому надзвичайно важливо отримувати продукцію високої якості, адже картопля добре реагує на фон мінерального живлення.

Ми встановили, що в усіх варіантах, на яких використовували капсульовані добрива, показники якості бульб були вищими, ніж у варіанті використання простого гранульованого добрива. Проте найкращі результати одержано у варіанті з добривом, до складу капсулоутворюючої композиції якого входила більша частка полістиролу. Він, мабуть, забезпечував більшу механічну міцність оболонки і відповідно подовжував термін її функціонування без руйнування і тривале вивільнення поживних елементів протягом вегетації картоплі.

Окрім того, отримані результати дослідження свідчать, що добрива мали значний вплив на кількість та фракційний склад картоплі (табл. 2).

2. Вплив добрив на фракційність картоплі

Варіант досліджу	Середня кількість бульб з 10 кущів, шт.			Середня маса бульб з 10 кущів, кг		
	усього	товарна фракція ≥ 35 мм	дрібна фракція < 35 мм	всього	товарна фракція ≥ 35 мм	дрібна фракція < 35 мм
1. Контроль (без добрив)	106	67	39	10,78	10,06	0,72
2. ГД	118	75	43	13,26	12,34	0,92
3. КД № 1	133	83	50	14,13	13,50	0,63
4. КД № 2	128	95	33	16,42	15,78	0,64
5. КД № 3	126	79	47	14,00	13,18	0,82

Якщо на контролі загальна кількість бульб з 10 кущів становила у середньому 106 шт., то у варіанті з гранульованим добривом – 118, у варіантах 3; 4 і 5 з капсульованими добривами – відповідно 133; 128 та 126 шт. При цьому найвищою товарністю бульб картоплі була у варіанті з капсульованим добривом № 2.

Рис. 3. Кількість бульб з одного куща картоплі: контроль (зліва), КД № 2

Таку ж закономірність встановлено і за середньою масою бульб картоплі з 10 кущів. Так, у варіанті з гранульованим добривом вона була на 2,48 кг більша, ніж на контролі, а у варіантах 3, 4 і 5 з капсульованими добривами – відповідно на 3,44; 5,72 та 3,12 кг більша. Найвищу врожайність одержано у варіанті застосування капсульованого добрива № 2 (рис. 3).

Отже, застосування капсульованих мінеральних добрив на картоплі збільшує не лише кількість продукції, але й поліпшує її основні якісні показники. Капсульовані мінеральні добрива на посівах картоплі збільшують врожайність і поліпшують товарність бульб (кількість товарної фракції картоплі розміром ≥ 35 мм за внесення капсульованого добрива № 1 збільшилася на 23,9 %, капсульованого добрива № 2 – на 41,8 %, капсульованого добрива № 3 – на 17,9 % порівнянно до контролю).

Коефіцієнт ефективності використання добрив розраховано за формулою 1 [1].

$$k_{\text{еф}} = \frac{UP - UP_0}{G_{\text{д.р.}}}, \quad (1)$$

де $K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективності використання добрива, тонн урожаю/тонн діючої речовини; UP_0 – врожайність у базовому варіанті

(контроль, без застосування добрив), т/га; UP – урожайність за певної застосованої агротехнології, т/га; $G_{д.р.}$ – кількість внесеної діючої речовини добрива, т.

Іншими словами, коефіцієнт ефективності використання добрив характеризує кількість діючої речовини, витраченої на одиницю збільшення врожаю. Цей показник свідчить про ефективність застосованої агротехнології.

3. Коефіцієнт ефективності використання різних видів добрив

Культура	K_{ef} , т урожаю/т діючої речовини			
	ГД	КД № 1	КД № 2	КД № 3
Картопля	33,43	50,16	84,47	48,23

Відповідно до зроблених розрахунків (табл. 3) коефіцієнт ефективності використання добрив (K_{ef}) у агроecosистемі картоплі для гранульованого добрива становив 33,43, що в 1,5 разу менше, ніж у варіанті використання КД № 1, у 2,6 разу менше, ніж з КД № 2 і у 1,4 разу менше, ніж з КД № 3.

Висновки. Встановлено, що всі види капсульованих добрив забезпечують кращі результати завдяки рівномірному вивільненню елементів живлення. Таким чином, за відповідних метеорологічних умов картопля сорту Щедрик отримувала оптимальне середовище для забезпечення елементами живлення за допомогою капсульованого добрива № 2, до складу оболонки якого, крім полістиролу, входив лігнін і природний сорбент, які у свою чергу підтримували не тільки динамічну стійкість оболонки, а також сприяли своєчасному вивільненню біогенних елементів живлення. Приріст урожаю у варіанті застосування капсульованих добрив становив у середньому 17,71–31,02 т/га. Особливо слід відзначити результати на варіанті з капсульованим добривом № 2, на якому приріст урожаю порівняно до контролю становив 31,02 т/га (34 %). Також ці види добрив поліпшили товарність бульб (кількість товарної фракції картоплі розміром ≥ 35 мм за внесення капсульованого добрива № 1 збільшилася на 23,9 %, капсульованого добрива № 2 – на 41,8 %, капсульованого добрива № 3 – на 17,9 % порівнянно до контролю).

Встановлено, що коефіцієнт ефективності використання добрива для капсульованих значно перевищує (а в деяких випадках більше, ніж у 2,6 разу) цей же показник для гранульованих добрив, оскільки за меншої кількості внесеної діючої речовини врожайність зростає. Це свідчить про високу господарську ефективність

використання капсульованих видів добрив у технологіях вирощування сільськогосподарських культур.

Список використаної літератури

1. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів / Патики В. П. та ін. ; за ред. В. П. Патики. Київ : Основа, 2005. 300 с.
2. Ващук В. В., Нагурський О. А. Утилізація відходів споживання виробів з полістиролу у виробництві капсульованих мінеральних добрив. Збірник матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. "1-й Всеукраїнський з'їзд екологів" (Вінниця, 4 лип. 2006 р.). Вінниця, 2006. С. 135–138.
3. Власян С. В., Шестозуб А. Б., Волошин М. Д. Технологія одержання азотного добрива з кальційвмісного відходу виробництва кальцієвої селітри. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 6 (10). С. 13–16.
4. Гаврилюк В. А., Демчук С. М. Органо-мінеральні добрива – комплексне вирішення використання сировинних ресурсів. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 4. С. 78–81.
5. Городній М. М. Науково-методичні рекомендації з оптимізації мінерального живлення сільськогосподарських культур та стратегії удобрення. Київ, 2004. 140 с.
6. Господаренко Г. М. Основи інтегрованого застосування добрив. Київ : Нічлава, 2002. 342 с.
7. Гумницький Я. М., Люта О. В., Сабадаш В. В. Регулювання швидкості вивільнення компонентів з капсульованих мінеральних добрив. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2006. № 553. С. 187–190.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. Заречений В. Г. Виробництво фосфоровмісних мінеральних добрив підприємствами України та їх використання в сільському господарстві. Суми : УК, 2004. 189 с.
10. Захаренко В. А. Мировые тенденции производства и использования минеральных удобрений. *Агрохимия*. 2000. № 5. С. 14–15.
11. Краєвський О. О., Осіпов В. А., Краєвський О. І. Еколого-економічна ефективність використання гранульованих азотних добрив з органічними домішками. *Вісник Сумського державного університету. Сек.: Економіка*. 2013. № 2. С. 20–23.

12. Люта О. В., Гумницький Я. М. Вплив метеорологічних умов на міграцію компонентів мінеральних добрив у ґрунтовому середовищі. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2008. № 609. С. 250–253.
13. Нагурський, О. А., Мальований М. С., Бунько В. Я. Особливості капсулювання гранульованих мінеральних добрив в апаратах киплячого шару. *Хімічна промисловість України*. 2012. № 5. С. 55–58.
14. Сайдак Р. В. Залежність ефективності добрив від гідротехнічних умов. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 4. С. 74–78.
15. Скрипка О. О. Порівняльний аналіз перспектив розвитку ринку мінеральних добрив України та Франції. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. 2012. Т. 17, вип. 3/4. С. 74–80.
16. Степаненко Т. О. Розвиток екологізації сільськогосподарських земель в Україні. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. “Управління земельними ресурсами в контексті сталого розвитку територій” (Харків, 24–26 верес. 2013 р.). Харків, 2013. С. 191–193.
17. Сучасні системи землеробства і технології вирощування сільськогосподарських культур / Камінський В. Ф. та ін. ; за ред. Камінського В. Ф. Київ : Едельвейс, 2012. 196 с.
18. Телегуз О. В. Оцінка екологобезпечного використання орних земель Львівської області. *Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту імені Лесі Українки*. 2010. № 15. С. 25–32.
19. Технологія фосфоровмісних добрив, кислот і солей : підручник / Астрелін І. М. та ін. ; за ред. ТОВАЖНЯНСЬКОГО Л. Л. Харків, 2011. 288 с.
20. Тихоненко Д. Г., Дегтярьов В. В., Величко В. А. Фізичні основи родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 11. С. 6–9.
21. Тымчук И. С., Мальований М. С. Капсулирование удобрений – путь к снижению загрязнения и повышению урожайности. *Устойчивое развитие*. 2014. № 23. С. 151–156.
22. Шевчук М. Й., Гаврилюк В. А. Ефективність використання фосфоритоносних агрод. *Вісник аграрної науки*. 2002. № 3. С. 10–12.
23. Шувар І. А. Біологізація землеробства – шлях до формування сталих агроєкосистем на локальному і глобальному рівнях. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. 2011. Т. 13, № 1 (2). С. 393–399.
24. Юркевич Є. О., Коваленко Н. П. Шляхи покращання екологічного стану ґрунту. *Вісн. Житомир. нац. агроеколог. ун-ту :*

наук.-теорет. зб. 2011. Вип. 2 (29). С. 299–306.

25. A review on versatile applications of blends and composites of pullulan with natural and synthetic polymers / Tabasum S. et al. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 120, part A. P. 603–632.

26. Assessing our nitrogen inheritance. *The European Nitrogen Assessment* / M. A. Sutton et al. Cambridge, 2011. P. 1–6.

27. Chen A. Spatially explicit modelling of agricultural dynamics in semi-arid environments. *Ecological Modelling*. 2018. Vol. 363. P. 31–47.

28. Dietzel R., Jarchow M., Liebman M. Above- and below-ground growth, biomass, and nitrogen use in maize and reconstructed prairie cropping systems. *Crop Science*. 2015. Vol. 55. P. 1–14.

29. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment / Chen J. et al. *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 613/614. P. 829–839.

30. Khiari L., Parent L.-E. Phosphorus transformations in acid light-textured soils treated with dry swine manure. *Canadian Journal of Soil Science*. 2005. Vol. 85. P. 75–87.

31. Niaounakis M. Agriculture/Forestry/Fishery. *Biopolymers: Applications and Trends*. United States : William Andrew, 2015. P. 185–232.

32. Physical properties of organo-mineral fertilizers – Short Communication / Pare M. C. et al. *Canadian Biosystems Engineering*. 2009. Vol. 51. P. 321–327.

33. Potential Applications and Avenues of Nanotechnology in Sustainable Agriculture. *Nanomaterials in Plants, Algae, and Microorganisms* / Vishwakarma K. et al. ; edited by Tripathi D.-K. et al. United States : Academic Press, 2018. P. 473–500.

34. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer / Qiao D. et al. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 147. P. 146–154.

35. Preparation and utilization of phosphate biofertilizers using agricultural waste / Wang H. et al. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018. Vol. 14, Is. 1. P. 158–167.

36. Recent progress in selected bio-nanomaterials and their engineering applications: An overview / Mishra R.-K. et al. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2018. Vol. 3, Is. 3. P. 263–288.

37. Shifts in soil bacterial communities induced by the controlled-release fertilizer coatings / Pan P. et al. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016. Vol. 15, Is. 12. P. 2855–2864.

38. Subsurface drainage nitrate and total reactive phosphorus losses in bioenergy-based prairies and corn systems / Daigh A. et al. *Journal of Environmental Quality*. 2015. Vol. 44, Is. 5. P. 1638–1646.

39. Survase S., Singh J., Singhal R. The Role of Potatoes in Biomedical/Pharmaceutical and Fermentation Applications. *Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition)* / edited by Singh J. and Kaur L. United States : Academic Press, 2016. P. 603–625.

40. Utilization of starch films plasticized with urea as fertilizer for improvement of plant growth / Rychter P. et al. *Carbohydrate Polymers*. 2016. Vol. 137. P. 127–138.

Отримано 16.10.2018