

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКУ ОКСИДУ ЗАЛІЗА У ВИРОЩУВАННІ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ТА СОЇ

Новохацький М., канд. с.-г. наук, доцент,
e-mail: novokhatskyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3635-1761>

Бондаренко О.,
e-mail: akro18@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9456-6715>

Майданович Н., канд. геогр. наук,
e-mail: poljuljach@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0361-8215>
УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

Метою цієї роботи було дослідження ефективності застосування нанодисперсного порошку оксиду заліза (напо Fe+) під час вирощування ячменю ярого та сої за різних систем основного обробітку ґрунту в умовах Лісостепу України.

Методи. Ефективність застосування напо Fe+ встановлювали визначенням біологічної врожайності досліджуваних культур та її структури порівняно з контрольним варіантом досліду (без застосування нанопрепарату). Досліджувані культури – ячмінь ярий та соя. Кількість варіантів досліду – 16 (по 8 варіантів на кожен культур). Кількість повторень – три. Дослідження проводилися за такою схемою: фактор А – система обробітку ґрунту (A_1 – традиційна, A_2 – консервувальна, A_3 – мульчувальна, A_4 – міні-тіл); фактор Б – оксид заліза напо Fe+ (B_1 – контроль (без застосування напо Fe+), B_2 – застосування напо Fe+ для обробки насіння з розрахунку 5 мг/т). Використаний нанопрепарат магнетиту чорного залізооксидного являє собою полівалентний оксид заліза ($FeO - Fe_2O_3 - Fe_3O_4$).

Результати. Отримані результати польових досліджень засвідчили тенденцію до зростання врожайності ячменю та сої від застосування препаратів оксиду заліза для обробки насіннєвого матеріалу. Приріст врожайності ячменю ярого був різним залежно від системи основного обробітку ґрунту і коливався від 5 % (консервувальна система) до 25 % (традиційна система). Найсприятливіші умови для формування врожаю ячменю ярого в межах досліду склалися у мульчувальній системі обробітку ґрунту, що разом із застосуванням напо Fe+ сформувало біологічну врожайність культури на рівні 61,2 ц/га. Ефект від безпосереднього впливу напо Fe+ у випадку мульчувальної системи становив 12 % приросту врожайності порівняно з контролем.

Застосування напо Fe+ на посівах сої сприяло підвищенню рівня виживання рослин. Біологічна врожайність насіння сої, обробленого напо Fe+, була вищою практично в усіх варіантах обробітку ґрунту. Найбільший ефект від застосування напо Fe+ було відмічено для традиційної системи обробітку (+55 % порівняно з контролем).

Висновки. Результатами польового досліду встановлено позитивний ефект від застосування напо Fe+ для обробки насіння в технології вирощування ячменю ярого та сої. Відмічено, що напо Fe+ впливав на ріст і розвиток досліджуваних культур та формування показників їхньої врожайності. Середній рівень біологічної врожайності ячменю ярого (для всіх застосованих систем основного обробітку ґрунту) без обробки напо Fe+ становив 50 ц/га, а із застосуванням нанопрепарату – 58 ц/га. Для сої середній для всіх досліджуваних систем рівень біологічної врожайності без напо Fe+ становив 17 ц/га, а із застосуванням нанопрепарату – 21,6 ц/га.

Ключові слова: ячмінь ярий, соя, оксид заліза, нанопрепарат, біологічна врожайність.

Вступ. Відкриття наночастинок і їх масштабне застосування у різних сферах стало технологічним проривом, який на цей час не має аналогів і надає можливість отримання принципово нових матеріалів з абсолютно новими, невідомими раніше властивостями. Зараз в Україні розроблено промисловий синтез високоактивних нанодисперсних полівалентних порошків оксиду заліза (напо Fe^{+}) з чітко вираженими властивостями суперпарамагнетиків (рис. 1) на основі технології електроерозійного диспергування.

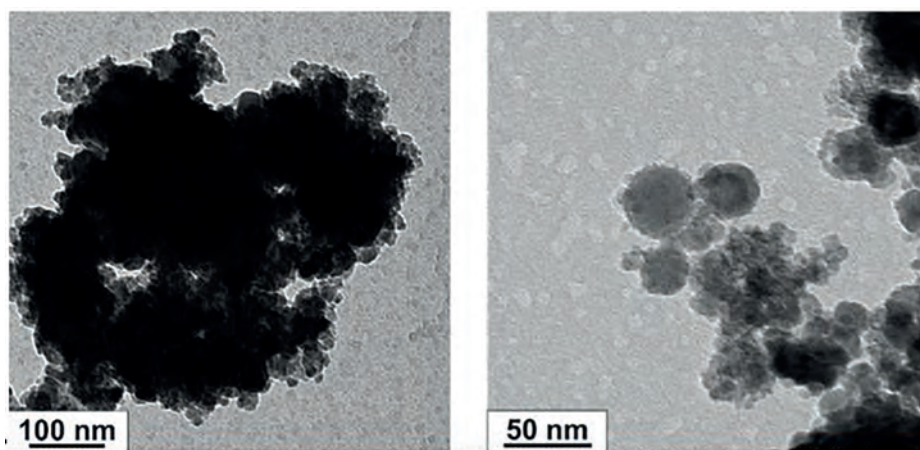


Рисунок 1 – Нанопорошок оксиду заліза (напо Fe^{+})

Огляд наукових досліджень показав, що напо Fe отримав широке застосування у різних сферах промислового виробництва, медицини та сільського господарства [Golchin et al., 2017; Prasad et al., 2017; Дерев'янка та ін., 2019]. Наявність Fe у ґрунті впливає на його рН, вміст карбонату кальцію, органічних речовин, накопичення фосфору, баланс іонів, текстуру, температуру та аерацію ґрунту, його вологість і щільність [Rawashdeh and Florin, 2015]. Крім того залізо виконує багато важливих функцій для росту та розвитку рослин, зокрема бере участь у біосинтезі хлорофілу, розвитку хлоропласту, покращує роботу фотосистем та відіграє важливу роль у метаболізмі нуклеїнових кислот [Welch, Shuman, 1995; Havlin, Heiniger, 2020]. Дослідженнями встановлено, що ґрунтове або позакореневе внесення Fe окремо або в поєднанні з іншими мікроелементами покращує ріст та розвиток сільськогосподарських культур [Armin et

al., 2014; Burke et al., 2015; Rawashdeh and Florin, 2015; Давидова та ін 2015; Elemike et al., 2019; Batsmanova et al., 2020; Каленська та Новицька, 2020].

В Україні зареєстровано понад 300 патентів на різноманітні технології та препарати на основі наночастинок. Зокрема, запатентовано нано-добрива, засоби для кореневого підживлення рослин, композиції для підвищення азотфіксації у рослинництві, засоби для захисту рослин від хвороб та комах-шкідників [Васильченко, Дерев'янка, 2019].

Польовими експериментами встановлено ефективність застосування нанопрепаратів при вирощуванні пшениці [Франтічук та ін 2012; Давидова та ін., 2014] та сої [Batsmanova et al., 2020; Каленська, Новицька, 2020] в різних варіантах поєднання Fe з іншими мікроелементами. Вплив окремого елементу напо Fe^{+} на врожайність зернових та

зернобобових культур у межах України не оцінювався, тому цей польовий експеримент є новим і актуальним з огляду на застосування новітніх нанопрепаратів.

Постановка завдань. Метою цієї роботи було дослідження ефективності застосування нанодисперсного порошку оксиду заліза у вирощуванні ячменю ярого та сої за різних систем основного обробітку ґрунту в умовах Лісостепу України.

Методи і матеріали. Дослідження проводилось у 2020 році у польовому досліді на угіддях УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, розміщених у Білоцерківському (Васильківському) районі Київської області, який належить до Київського агроґрунтового району Правобережного Лісостепу. Польовий дослід був закладений на чорноземі типовому малогумусному, який характеризувався середньою забезпеченістю азотом та підвищеною — рухомим фосфором і обмінним калієм, за рівнем кислотності — близький до нейтрального (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати хімічного аналізу ґрунтових проб на полі під час сівби ячменю ярого та сої

Шар ґрунту, см	Азот гідролізов., (за Корнфільдом, ДСТУ 4362:2004)	Фосфор рухомий (P_2O_5), ДСТУ 4115-2002	Калій рухомий, (K_2O), ДСТУ 4725:2007	Вологість ґрунту, %	Щільність ґрунту, г/см ³	Запаси продуктивної вологи, мм
0-10	12,1	25,7	13,6	13,7	1,26	8,0
10-20	12,3	25,1	13,6	13,8	1,30	7,8
20-30	12,9	25,8	11,8	15,6	1,45	11,0
30-40	10,8	21,3	8,2	15,6	1,43	11,0

Для вирощування досліджуваних культур було використано традиційні технології для зони проведення досліджень за винятком елементів, включених до схеми дослідів. Мінеральні та органічні добрива, крім досліджуваних препаратів, для вирощування досліджуваних культур не застосовувалися.

Кількість досліджуваних культур – дві (ячмінь ярий, соя). Кількість варіантів – 16 (по 8 варіантів на кожній досліджуваній культурі). Кількість повторень – три.

Дослідження проводилися за такою схемою:

1) фактор А – система обробітку ґрунту (A_1 – традиційна, A_2 – консервувальна, A_3 – мульчувальна, A_4 – міні-тіл);

2) фактор Б – оксид заліза (B_1 – контроль (без застосування препаратів оксиду заліза), B_2 – застосування оксиду заліза для обробки насіння з розрахунку 5 мг/т).

У досліді використано нанопрепарат магнетиту чорного залізооксидного, що являє собою полівалентний оксид заліза ($FeO - Fe_2O_3 - Fe_3O_4$) і має відповідний паспорт якості та реєстраційний номер відповідно до Регламенту (ЄС) № 1907/2006. Застосовуваний препарат відноситься до IV класу безпеки за ступенем впливу на організм людини і не класифікується як небезпечний відповідно директивам 67/548/ЄС та 1999/45/ЄС.

Системи обробітку ґрунту розділили на чотири групи, назви їм присвоїли науковці УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. В основу класифікації систем покладені їхні характерні особливості [Шевченко та ін., 2008; Новохацький та ін., 2017]:

- *традиційна система* передбачає

провокацію проростання насіння бур'янів і падалиці, руйнування капілярів і підрізання бур'янів, розпушування ґрунту з обертанням скиби (оранка) на глибину від 20-22 до 30-32 см і повне загортання рослинних решток на глибину від 6-8 до 12-14 см;

- *консервувальна система* включає мульчування ґрунту подрібненими рослинними рештками зі збереженням до 50 % їх на поверхні ґрунту на період сівби, обробіток верхнього шару з перемішуванням рослинних решток, безполіцевий основний обробіток (чизельне розпушування) на глибину від 25-27 до 38-40 см і повне підрізання бур'янів;

- *мульчувальна система* базується на мульчуванні ґрунту подрібненими рослинними рештками зі збереженням не менше 30 % їх на поверхні ґрунту в період сівби, обробіток верхнього шару ґрунту дисковими знаряддями на глибину 10-12 см з перемішуванням рослинних решток і повне підрізання бур'янів;

- *система міні-тіл* полягає в мульчуванні ґрунту подрібненими рослинними рештками з максимальним збереженням їх на поверхні ґрунту на період сівби і поверхневому обробітку ґрунту на глибину загортання насіння.

Ефективність застосування $nano\ Fe+$ встановлювали визначенням біологічної врожайності досліджуваних культур та її структури порівняно з контрольним варіантом досліді (без застосування нанопрепарату). Біологічну врожайність зерна визначали за пробними снопами, відібраними на кожному із варіантів, у трикратній повторності [Грицаєнко та ін., 2003].

За аналізом пробних снопів у досліджуваних культур було визначено основні елементи структури врожайності за кожним варіантом. Статистичну обробку отриманих даних проведено методом дисперсійного аналізу [Доспехов, 1985].

Результати. Отримані результати польових досліджень засвідчили тенденцію до зростання врожайності ячменю та сої за застосування препаратів оксиду заліза для обробки насінневого матеріалу. Аналіз пробних снопів ячменю ярого показав позитивні зміни біометричних показників рослин, сформованих на дослідних варіантах, порівняно з контрольним. Висота рослин всіх варіантів була на одному рівні, довжина колоса була майже однаковою на всіх варіантах, проте біологічна врожайність була вищою на варіантах, де застосовувався препарат NaPO Fe^+ (табл. 2).

Як видно з таблиці 2, приріст врожайності ячменю був різним залежно від системи основного обробітку ґрунту і коливався від 5 % (консервувальна система) до 25 % (традиційна система). Проте найсприятливіші умови для формування врожаю ячменю ярого в межах дослідів склалися у мульчувальній системі обробітку ґрунту, що разом із застосуванням NaPO Fe^+ сформувало біологічну врожайність культури на рівні 61,2 ц/га. Ефект

від безпосереднього впливу NaPO Fe^+ у випадку мульчувальної системи становив 12 % приросту врожайності порівняно з контролем (табл. 2). Середній рівень біологічної врожайності ячменю ярого (для всіх застосованих систем основного обробітку ґрунту) без застосування NaPO Fe^+ становив 50 ц/га, а із застосуванням NaPO Fe^+ — 58 ц/га.

Застосування оксиду заліза на посівах сої, в межах схеми дослідів, сприяло підвищенню рівня виживання рослин протягом вегетації. Обробка насіння препаратом NaPO Fe^+ сприяла збільшенню кількості бульбочок на коренях сої на всіх варіантах. Біологічна врожайність насіння сої, обробленого оксидом заліза, була вищою практично в усіх варіантах (табл. 3).

Приріст врожайності сої був різним залежно від системи основного обробітку ґрунту. Найбільший ефект від застосування NaPO Fe^+ в межах дослідів було відмічено для традиційної системи обробітку (+55 % до біологічної врожайності порівняно з контролем). Незначний негативний ефект від застосування препарату було відмічено в системі міні-тіл, проте ця система була досить сприятливою для вирощування сої на варіанті контролю, де рівень врожайності сої склав 22,5 ц/га. Середній рівень біологічної врожайності

Таблиця 2 – Біологічна врожайність ячменю ярого та її структура

Показники структури врожайності	Система обробітку ґрунту							
	традиційна		консервувальна		мульчувальна		міні-тіл	
	контроль	NaPO Fe^+	контроль	NaPO Fe^+	контроль	NaPO Fe^+	контроль	NaPO Fe^+
Густота стояння рослин млн шт./га	6,8	6,1	6,1	6,6	6,3	6,0	6,7	6,1
Висота рослин, см	50,9	50,9	49,7	50,9	49,9	55,4	48,8	49,8
Маса рослин, г	2,3	3,0	2,8	3,2	2,8	3,0	2,1	2,5
Загальна кущистість	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1
Продуктивна кущистість	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1
Довжина колоса, см	6,3	6,6	6,3	5,7	6,4	6,5	5,7	5,9
Маса зерна з колоса, г	0,6	0,7	0,7	0,7	1,6	0,8	0,6	0,9
Біологічна врожайність * зерна, ц/га	46,8	58,4	49,8	52,3	54,7	61,2	50,0	60,1

* HP_{05} для біологічної врожайності: для фактору А (система обробітку ґрунту) – 2,31; для фактору В (застосування оксиду заліза) – 1,63; для взаємодії факторів – 3,27

Таблиця 3 – Біологічна врожайність сої та її структура

Показник	Система обробітку ґрунту							
	Традиційна		консервувальна		мульчувальна		міні-тіл	
	кон- троль	Nano Fe+	кон- троль	Nano Fe+	кон- троль	Nano Fe+	кон- троль	Nano Fe+
Густота стояння рослин, тис. шт./га	400	600	400	533,3	466,7	400	466,7	466,7
Висота рослин, см	77,6	90,4	77,6	98,4	83,0	72,6	74,6	81,4
Маса зернин на головному стеблі, г	3,4	3,6	3,9	4,0	3,3	5,4	4,1	4,3
Маса 1000 насінин на головному стеблі, г	101,6	102,1	101,6	127,1	73,3	125,7	101,9	103,3
Маса зерна на бічних гілках, г	0,8	0,17	0,3	–	–	0,22	0,74	0,30
Маса 1000 насінин на бічних гілках, %	105,0	118,5	81,5	–	–	84,6	63,5	98,7
Біологічна врожайність* зерна, ц/га	13,7	21,3	16,0	21,4	15,6	22,6	22,5	21,0

* HR_{05} для біологічної врожайності: для фактору А (система обробітку ґрунту) – 0,52; для фактору Б (застосування оксиду заліза) – 0,37; для взаємодії факторів – 0,74

сої (для всіх застосованих систем основного обробітку ґрунту) без застосування нано Fe+ становив 17 ц/га, а із застосуванням нанопрепарату – 21,6 ц/га.

Обговорення. З огляду низки наукових робіт [Armin et al., 2014; Давидова та ін., 2014; Rawashdeh, Florin, 2015; Elemike et al., 2019; Havlin, Heiniger, 2020; Каленська, Новицька, 2020] можна зробити висновок, що внесення залізовмісних добрив (ґрунтових та позакореневих) одноразово або в суміші з іншими мікроелементами позитивно впливає на ріст культури та компоненти її врожайності, що підтверджує отримані в цьому дослідженні тенденції. Ось у роботі [Armin et al., 2014] було встановлено що позакореневе внесення нано Fe обприскуванням з концентраціями 2 %, 4 % і 6 % відповідно до 2, 4 і 6 кг Fe/га (хелати водорозчинного нано Fe) призвело до зростання рівня врожайності культури на 12 %, 22 % та 19 %, відповідно, порівняно з контролем. Польовим експериментом встановлено, що застосування комплексного мікродобрива українського виробництва «Аватар-1», яке містить цитрато-хелати восьми біогенних мікроелементів (включаючи і нано Fe+), у вирощуванні

пшениці озимої м'якої забезпечило значне підвищення врожаю зерна і поліпшення його якості [Давидова та ін., 2015]. Наші дослідження проведені для іншої зернової культури (ячмінь ярий) із застосуванням монокомпонентної обробки насінєвого матеріалу (лише нано Fe+), але ефект збільшення біологічної врожайності культури є подібним.

Щодо сої, то впродовж останнього десятиліття було опубліковано численні дані про вплив різних нанопрепаратів на цю культуру [Coman et al., 2019]. Щодо дії нанодисперсних елементів оксиду заліза Fe_2O_3 на сою встановлено, що фоліарне розпилення нано Fe_2O_3 в концентрації 0,75 г/л збільшувало суху масу листя, біб і суху масу боба сої, а найвищий урожай зерна спостерігався від використання 0,5 г/л нанооксиду заліза, що показало збільшення врожаю зерна на 48 % порівняно з контролем [Sheykhbaglou et al., 2010]. Дослідженням [Alidoust, Isoda, 2013] встановлено, що позакореневе та ґрунтове підживлення сої наночастинками Fe_2O_3 мало позитивний вплив на подовження коренів, масу пагонів, площу листя та фотосинтетичні параметри розвитку рослин. Дослідження впродовж

6 тижнів у тепличних умовах впливу позитивно та негативно заряджених наночастинок Fe_3O_4 на ріст рослин сої показало, що тип наночастинок може впливати на ріст рослин та вміст поживних речовин у сільськогосподарських культурах і що заряд цих частинок впливає на колонізацію кореневої системи азотфіксувальними бактеріями [Burke et al., 2015].

Застосовані в цій роботі варіанти обробітку ґрунту відрізнялись за способом загортання в ґрунт пожнивних решток попередника. А це, зі свого боку, визначало домінування відповідних груп ґрунтової мікробіоти. Системи мінімального обробітку ґрунту створюють умови, в яких аеробні мікробіологічні процеси значно прискорюються і є переважно сприятливими для росту і розвитку рослин та формування врожаю. На перших стадіях мікробіологічної деструкції пожнивних залишків в анаеробних процесах домінують окислювальні бактерії, а за умов низьких зимових температур і сухого літа та осені процеси деструкції гальмуються і на момент сівби в ґрунт відмічається підвищений вміст летких жирних кислот. Тому, на думку авторів, вірогідно, що використаний у дослідженнях нанопрепарат відразу після сівби може виконувати функції сорбції летких жирних кислот, що сприяє підвищенню схожості та стартового росту культур, проте така гіпотеза потребує детальнішого дослідження.

Висновки. Результатами польового дослідження встановлено позитивний ефект від обробки насіння нанодисперсним препаратом оксиду заліза в технології вирощування ячменю ярого та сої. Відмічено, що напo Fe^+ впливав на ріст і розвиток досліджуваних культур та формування показників їхньої врожайності. Середній рівень біологічної врожайності ячменю ярого (для всіх застосованих систем основного обробітку ґрунту) без оброблення напo Fe^+ становив 50 ц/га, а із застосуванням нанопрепарату — 58 ц/га. Для сої середній для всіх досліджуваних систем рівень біологічної врожайності без напo Fe^+ становив 17 ц/га, а із застосуванням

нанопрепарату — 21,6 ц/га.

Аналіз наукових досліджень показав позитивний ефект застосування напo Fe^+ у поєднанні з іншими мікроелементами. На думку авторів, для підвищення врожайності сільськогосподарських культур ефективним може бути використання комплексних препаратів до складу яких входять напo Fe^+ та іммобілізовані на ньому біопрепарати підвищення врожайності та біологічного захисту рослин.

Перелік літератури

Васильченко А. В., Дерев'янка С. В. (2019). Сфери застосування нанотехнологій у сільському господарстві України. Актуальні питання сільськогосподарської мікробіології: матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. Режим доступу: https://ismav.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8-2019_%D0%905.pdf

Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. (2003). Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К. «Нічлава». 316.

Давидова О. Є., Аксilenко М. Д., Лях Г. О. (2014). Ефективність застосування нових мікроелементних комплексів при вирощуванні пшениці озимої / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Agronomija/article/viewFile/1124/1078>

Дерев'янка С. В., Васильченко А. В., Каплуненко В. Г., Головка А. М., Співак М. Я., Харчук М. С. (2019). Перспективи розробки препаратів для сільськогосподарства на основі наночастинок. Вісник аграрної науки, №10 (799). С. 44-54. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201910-07>

Доспехов Б. А. (1985). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, допол. и перераб. — М: Агропромиздат. 351.

Каленська С. М., Новицька Н. В.

(2020). Ефективність нанопрепаратів у технології вирощування сої. Рослинництво та кормовиробництво. Вип. 11, №3, 2020. <https://doi.org/10.31548/agr2020.03.007>

Новохацький М., Негуляєва Н., Бондаренко О., Гусар І. (2017). Експертиза систем різноглибинного основного обробітку ґрунту при вирощуванні зернових культур. Техніка і технології АПК. № 2 (89). 33-37.

Шевченко О. О., Кравчук В. І., Погорілий В. В. та ін. (2008). Науково-технічна експертиза технологічних рішень систем обробітку ґрунту. К. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 45.

Франтіїчук В. В., Коваленко М. С., Гончар Л. М. та ін. (2012). Вплив неіонного колоїдного розчину наночасток металів на ріст і розвиток озимої пшениці. Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. № 14. 119-123.

Alidoust D., Isoda A. (2013). Effect of $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles on photosynthetic characteristic of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): foliar spray versus soil amendment. *Acta Physiol Plant* 35, 3365–3375. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1369-8>

Armin M., Akbari S., Mashhadi S. (2014). Effect of time and concentration of nano Fe foliar application on yield and yield components of wheat. *International Journal of Biosciences*. Vol. 4, No. 9, 69-75. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.9.69-75>

Batsmanova, L., Taran, N., Konotop, Y. et al. (2020). Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*. 21(2). 311–319. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.2.2414>

Burke D. J., Pietrasiak N., Situ S. F., Abenobar E. C., Porche M., Kraj P., Lakliang Y., Samia A.C.S. (2015). Iron Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticle Effects on Plant Performance and Root Associated Microbes. *International Journal of Molecular Sciences*.; 16(10):23630-23650. <https://doi.org/10.3390/ijms161023630>

Coman V., Oprea I., Leopold L. F., Vod-

nar D. C., Coman C. (2019). Soybean interaction with engineered nanomaterials: a literature review of recent data. *Nanomaterials*, 9, 1248. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9091248>

Elemike E. E., Uzoh I. M., Onwudiwe D. C., Babalola O. O. (2019). The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. *Applied Sciences*, 9, 499. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9030499>

Golchin J., Golchin K., Alidadian N., Ghaderi S., Eslamkhah S., Eslamkhah M., and Akbarzadeh A. (2017). Nanozyme applications in biology and medicine: an overview. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 45(6), 1069-1076. DOI: 10.1080/21691401.2017.1313268

Hamzeh M. Rawashdeh and Sala Florin (2015). Foliar application with iron as a vital factor of wheat crop growth, yield quantity and quality : A Review. *International Journal of Agricultural Policy and Research* Vol.3 (9), pp. 368-376, <http://dx.doi.org/10.15739/IJAPR.062>

Havlin J., Heiniger R. (2020). Soil Fertility Management for Better Crop Production. *Agronomy*; 10(9):1349. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091349>

Prasad R., Bhattacharyya A. and Nguyen Q. D. (2017). Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Frontiers in microbiology*, 8, 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>

Ross M. Welch and Dr. Larry Shuman (1995). Micronutrient Nutrition of Plants, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14:1, 49-82 <http://dx.doi.org/10.1080/07352689509701922>

Sheykhabaglou R., Sedghi M., Shishevan M. T. and Sharifi, R. S. (2010). Effects of Nano-Iron Oxide Particles on Agronomic Traits of Soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2), 112-113. <https://doi.org/10.15835/nsb224667>

References

Alidoust D., Isoda A. (2013). Effect of

$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles on photosynthetic characteristic of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): foliar spray versus soil amendment. *Acta Physiol Plant* 35, 3365–3375. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1369-8>

Armin M., Akbari S., Mashhadi S. (2014). Effect of time and concentration of nano Fe foliar application on yield and yield components of wheat. *International Journal of Biosciences*. Vol. 4, No. 9, 69-75. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.9.69-75>

Batsmanova L., Taran N., Konotop Y. et al. (2020). Use of a colloidal solution of metal and metal oxide-containing nanoparticles as fertilizer for increasing soybean productivity. *Journal of Central European Agriculture*. 21(2). 311–319. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.2.2414>

Burke D. J., Pietrasiak N., Situ S. F., Abenobar E. C., Porche M., Kraj P., Lakliang Y., Samia A.C.S. (2015). Iron Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticle Effects on Plant Performance and Root Associated Microbes. *International Journal of Molecular Sciences*.; 16(10):23630-23650. <https://doi.org/10.3390/ijms161023630>

Coman V., Oprea I., Leopold L. F., Vodnar D. C., Coman C. (2019). Soybean interaction with engineered nanomaterials: a literature review of recent data. *Nanomaterials*, 9, 1248. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9091248>

Davydova O. E., Aksilenko M. D., Lyakh G. O. (2014). Efficiency of application of new microelement complexes at cultivation of winter wheat. Retrieved from: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Agronomija/article/viewFile/1124/1078>

Derev'ianko S. V., Vasyl'chenko A. V., Kaplunenko V. G., Golovko A. M., Spivak M. Ja., Harchuk M. S. (2019). Perspectives of development of preparations for agriculture on the basis of nano-particles. *Bulletin of Agricultural Science*, №10 (799). 44-54. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201910-07>

Dospekhov B. A. (1985). Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Ed. 5th, supplement. and rework. M: Agropromizdat. 351.

Elemike E. E., Uzoh I. M., Onwudiwe D. C., Babalola O. O. (2019). The role of nanotechnology in the fortification of plant nutrients and improvement of crop production. *Applied Sciences*, 9, 499. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9030499>

Frantiychuk V. V., Kovalenko M. S., Gonchar L. M. etc. (2012). Influence of non-ionic colloidal solution of metal nanoparticles on growth and development of winter wheat. *Collection of scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets NAAS*. № 14. 119-123.

Golchin J., Golchin K., Alidadian N., Ghaderi S., Eslamkhah S., Eslamkhah M., and Akbarzadeh A. (2017). Nanozyme applications in biology and medicine: an overview. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 45(6), 1069-1076. DOI: [10.1080/21691401.2017.1313268](https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1313268)

Gritsayenko Z. M., Gritsayenko A. A., Karpenko V. P. (2003). Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils. K. «Nichlava». 316.

Hamzeh M. Rawashdeh and Sala Florin (2015). Foliar application with iron as a vital factor of wheat crop growth, yield quantity and quality : A Review. *International Journal of Agricultural Policy and Research* Vol.3 (9), pp. 368-376, <http://dx.doi.org/10.15739/IJAPR.062>

Havlin J, Heiniger R. (2020). Soil Fertility Management for Better Crop Production. *Agronomy*; 10(9):1349. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091349>

Kalenska S. M., Novytska N. V. (2020). Efficiency of nano preparations in soybean growing technology. *Plant and Soil Science*. Vol. 11, №3, 2020. <https://doi.org/10.31548/agr2020.03.007>

Novokhatsky M., Neguliayeva N., Bondarenko O. and Gusar I. (2017). Expertise of different depth tillage systems in the cultivation of cereals. *Machinery and technologies of agro-industrial complex*. № 2 (89). 33-37.

Prasad R., Bhattacharyya A. and Nguyen Q. D. (2017). Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Frontiers in microbiology*, 8, 1014. <https://doi.org/10.3389/>

fmicb.2017.01014

Ross M. Welch and Dr. Larry Shuman (1995). Micronutrient Nutrition of Plants, Critical Reviews in Plant Sciences, 14:1, 49-82 <http://dx.doi.org/10.1080/07352689509701922>

Shevchenko O., Kravchuk V., Pogoriliy V. et al. (2008). Scientific and technical expertise of technological cultivation solutions. Kiev. L. Pogoriliy UkrNDIPVT. 45.

Sheykhbaglou R., Sedghi M., Shishevan M. T. and Sharifi R. S. (2010). Effects of Nano-Iron Oxide Particles on Agronomic

Traits of Soybean. Notulae Scientia Biologicae, 2(2), 112-113. <https://doi.org/10.15835/nsb224667>

Vasilchenko A.V., Derevyanko S.V. (2019). Areas of application of nanotechnologies in agriculture of Ukraine. Current issues of agricultural microbiology: materials of the All-Ukrainian scientific-practical Internet conference. Retrieved from: https://ismav.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8-2019_%D0%905.pdf

UDC 631.343:631.55

EFFICIENCY OF IRON OXIDE NANOPARTICLE APPLICATION IN THE GROWING OF SPRING BARLEY AND SOYBEAN

Novokhatsky M. PhD in Agronomy, associate professor

e-mail: novokhatskyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3635-1761>

Bondarenko O., e-mail: akro18@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9456-6715>

Maidanovych N., PhD in Geography,

e-mail: poljuljach@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0361-8215>

Leonid Pogoriliy UkrNDIPVT

Summary

The aim of this research was to study of efficiency of iron oxide nanoparticle application (nano Fe+) in the cultivation of spring barley and soybeans by different systems of basic tillage in the Forest-Steppe of Ukraine.

Methods. The effectiveness of nano Fe+ applying was determined by determining the biological yield of the studied crops and its structure and comparison with the control version of the experiment (without the use of nanopreparation). The studied crops were spring barley and soybeans. The number of variants of the experiment were 16 (8 variants for each culture). Number of repetitions – three. The research was carried out according to the following scheme: factor A – tillage system (A₁ – traditional, A₂ – conservation, A₃ – mulching, A₄ – mini-till); factor B – iron oxide nano Fe+ (B₁ – control (without the use of nano Fe+), B₂ – the use of nano Fe+ for seed treatment at a rate of 5 mg/t). Used nanopreparation of black iron oxide magnetite is a polyvalent iron oxide (FeO - Fe₂O₃ - Fe₃O₄).

Results of field research showed a tendency to increase the yield of barley and soybeans with the use of iron oxide nanoparticles in the treatment of seed material. The increase in the yield of spring barley was different depending on the system of basic tillage and ranged from 5 % (conservation system) to 25 % (traditional system). The most favorable conditions for the formation of spring barley yield within the experiment were formed by the mulching system of tillage, which together with the use of nano Fe+ allowed to form the biological yield of the crop at the level of 61,2 c/ha. The effect of direct exposure to nano Fe+ in the case of the mulching system was a 12 % increase in yield compared to control.

The use of nano Fe+ on soybean crops helped to increase plant survival. Biological yield during

soybean seed treatment nano Fe⁺ was higher in almost all tillage options. The greatest effect from the use of nano Fe⁺ was observed for the traditional tillage system (+ 55 % compared to the control).

Conclusions. The results of the field experiment revealed a positive effect from the use of nano Fe⁺ in seed treatment in the technology of growing spring barley and soybeans. It is noted that nano Fe⁺ influenced the growth and development of the studied crops and the formation of their yields. The average level of biological yield of spring barley (for all applied tillage systems) without nano Fe⁺ treatment was 50 c/ha, and with the use of nanopreparation – 58 c/ha. For soybeans, the average level of biological yield for all studied systems without nano Fe⁺ was 17 c/ha, and with the use of nanopreparation – 21,6 c/ha.

Key words: spring barley, soybean, iron oxide, nanoparticle, biological yield.

УДК 631.343:631.55

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО И СОИ

Новохацкий М., канд. с.-х. наук, доцент,

e-mail: novokhatskyi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3635-1761>

Бондаренко А., e-mail: akro18@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-9456-6715>

Майданович Н., канд. геогр. наук,

e-mail: poljuljach@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0361-8215>

УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

Аннотация

Целью этой работы было исследование эффективности применения нанодисперсного порошка оксида железа (напо Fe⁺) при выращивании ячменя ярового и сои при различных системах основной обработки почвы в условиях Лесостепи Украины.

Методы. Эффективность применения напо Fe⁺ устанавливали путем определения биологической урожайности исследуемых культур и ее структуры по сравнению с контрольным вариантом (без применения нанопрепарата). Исследуемые культуры – ячмень и соя. Количество вариантов опыта – 16 (по 8 вариантов на каждую культуру). Количество повторений – три. Исследования проводились по следующей схеме: фактор А – система обработки почвы (А₁ – традиционная, А₂ – консервирующая, А₃ – мульчирующая, А₄ – мини-тилл); фактор Б – оксид железа напо Fe⁺ (Б₁ – контроль (без применения напо Fe⁺), Б₂ – применение напо Fe⁺ для обработки семян из расчета 5 мг/т). Использованный нанопрепарат магнетита черного зализооксидного представляет собой поливалентный оксид железа (FeO – Fe₂O₃ – Fe₃O₄).

Результаты. Полученные результаты полевых исследований показали тенденцию к росту урожайности ячменя и сои с применением препаратов оксида железа при обработке семенного материала. Прирост урожайности ячменя ярового был различным в зависимости от системы основной обработки почвы и колебался от 5 % (консервирующая система) до 25 % (традиционная система). Благоприятные условия для формирования урожая ячменя ярового в пределах опыта сложились при мульчирующей системе обработки почвы, что вместе с применением напо Fe⁺ позволило сформировать биологическую урожайность культуры на уровне 61,2 ц/га. Эффект от непосред-