

УДК 633.11:631.8

© 2023

ВПЛИВ ІНГІБІТОРА НІТРИФІКАЦІЇ 3,4-ДИМЕТИЛПІРАЗОЛФОСФАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ПОЄДНАНОГО ВИКОРИСТАННЯ З КАС-32

С.В. Мунтян¹, А.П. Шатковський²

¹кандидат сільськогосподарських наук

²доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН

Інститут водних проблем і меліорації НААН

вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022, Україна

e-mail: ais_888@ukr.net¹, andriy-1804@ukr.net²

ORCID: ¹0000-0002-8933-9283, ²0000-0002-4366-0397

Надійшла 19.01.2023

Мета. Встановити доцільність впливу використання інгібітора нітритифікації 3,4-диметилпіразолфосфат (ДМПФ) за поєднаного внесення з карбамідно-аміачною сумішшю (КАС-32) на врожайність зерна пшениці озимої. **Визначити** різницю в урожайності пшениці озимої за використання різних норм КАС-32 з додаванням і без додавання ДМПФ. **Методи.** Польовий (стаціонарний дослід); лабораторний (агрохімічний аналіз ґрунтових і рослинних зразків); аналітичний (системний аналіз багаторічних результатів польового досліді і метеорологічних спостережень); математико-статистичний; кореляційного і регресивного аналізу; математичного моделювання та емпіричного узагальнення встановлених закономірностей. **Результати.** Підтверджено, що використання ДМПФ разом із КАС-32 істотно вплинуло на врожайність пшениці озимої. За однакової норми КАС-32, 300 кг/га у варіанті з використанням ДМПФ урожайність збільшилася на 4,5 ц/га, або 12% порівняно з варіантом, де використовували КАС-32 тією самою нормою, 300 кг/га без застосування ДМПФ. У варіанті за зменшеної норми КАС-32, 250 кг/га із застосуванням ДМПФ порівняно з варіантом зі збільшеною нормою КАС-32, 300 кг/га, але без застосування ДМПФ урожайність підвищилася на 4,2 ц/га, або 11,2% за 4 роки досліджень (2018 – 2021). **Висновки.** Установлено, що у варіантах із використанням ДМПФ разом із КАС-32 урожайність підвищилася порівняно з контролем (без добрив) на 25,3 – 25,6 ц/га (67,6 – 68,4%). У варіантах із використанням ДМПФ разом із КАС-32 порівняно з варіантом із застосуванням КАС-32, але без використання ДМПФ урожайність підвищилася на 4,2 – 4,5 ц/га (11,2 – 12,0%) за 4 роки досліджень (2018 – 2021).

Ключові слова: азотне живлення, урожайність, втрати азоту, амонійний і нітратний азот, денітрифікація.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202302-08>

Визначення економічної ефективності використання мінеральних добрив, зниження їх втрат — одне із важливих завдань сільськогосподарського виробництва.

Урожайність пшениці озимої залежить від забезпеченості її азотним живленням. Однак унесений у ґрунт азот із добрив зазнає втрат, що знижує ефективність

унесених добрив і зменшує забрудненість доквілля [1–3]. Підвищення ефективності азотних добрив можливе за рахунок зниження його втрат, пов'язаних із вимиванням нітратів унаслідок нітрифікації та випаровуванням у газоподібних формах при денітрифікації, за яких вони становлять до 25–30% від унесеної кількості азоту [4–6]. Одним із заходів щодо зниження втрат азоту та підвищення ефективності внесених азотних добрив є застосування інгібіторів нітрифікації, що сприяє зниженню втрат азоту в газоподібній формі і від вимивання нітратів, унаслідок чого усувається небезпека забруднення водних джерел і атмосфери [6–9]. Інгібітор нітрифікації — речовина селективної дії, здатна гальмувати процеси нітрифікації в ґрунті пригніченням розвитку бактерій групи *Nitrosomonas*. Механізм дії інгібітора нітрифікації полягає в пролонгації перетворення одних форм азоту в інші в порівнянні з традиційними розчинними мінеральними добривами: сечовиною, сульфатом амонію, нітратом амонію [5, 8–10].

Мета досліджень — вивчити вплив інгібітора нітрифікації 3,4-диметилпіразолфосфат (ДМПФ), унесеного разом із КАС-32 (карбамідно-аміачною сумішшю) на врожайність зерна пшениці озимої за 2018–2021 рр. досліджень.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили в науково-дослідному пункті СТОВ «Дружба Нова» Варвинського р-ну Чернігівської обл. (відділення агрохолдингу Кернел). Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем типовий малогумусний, орний шар якого характеризується такими основними показниками: уміст гумусу — 3,4%, рН нейтральний і близький до нейтрального — 5,7–7,0, уміст рухомих форм фосфору — від високого і дуже високого — 15,4–26,3 мг/100 г ґрунту, обмінного калію — від середнього до високого — 7,1–16,2 мг/100 г ґрунту, легкогідролізованого азоту — від підвищеного до високого — 5,7–7,9 мг/100 г ґрунту. Дослідження проводили за схемою 1-факторного досліді. Посівна площа дослідної ділянки — на 0,6 га, чергування варіантів — послідовне. Польові досліді закладали й виконували згідно з методикою польових дослідів (Доспехов Б.А., 1985). Облік

урожаю проводили методом суцільного збирання та зважування бункерної маси з кожної ділянки з наступним перерахунком на стандартну вологість і засміченість згідно з ДСТУ 2240–93 у 3-разовій повторності. Математико-статистичне обрахування даних здійснювали за допомогою програмно-інформаційного комплексу «Agrostat».

Згідно з рішенням регуляторної комісії Європейського Союзу № 1257/2014, що коригує впорядкування ЄС № 2003/2003 Європейського Парламенту та Ради стосовно добрив та зміни доповнень I та IV від 24.11.2014, встановлено норму використання 3,4-диметилпіразолфосфату (ЄС № 424-640-9) як мінімум 0,8% і максимум 1,6% [11]. Отже, 3,4-диметилпіразолфосфат можна застосовувати в межах мінімально 0,8% та максимально 1,6% на амідній NH_2^- та амонійній NH_4^+ формах азоту.

Для розрахунку норми використання інгібітора нітрифікації 3,4-диметилпіразолфосфат на КАС-32 брали до уваги те, що на вміст 1000 кг наявного КАС-32 потрібно інгібувати 78 кг амонійного азоту NH_4^+ та 156 кг амідного азоту NH_2^- , що дає в сумі 234 кг амонійного азоту NH_4^+ та амідного азоту NH_2^- , тобто всього азоту для інгібування. Відповідно до регулювання використовували мінімальну норму інгібітора 3,4-диметилпіразолфосфат 0,8% (234 кг азоту \cdot 0,8%=1,87 кг), тому потрібно 1,87 кг ДМПФ за умови 100%-ої його концентрації. Застосовували ДМПФ з концентрацією 24,9%, тому норму 1,87 кг ДМПФ із 100%-ою концентрацією потрібно перевести в концентрацію 24,9% (1,87 кг/24,9%=7,51 кг ДМПФ з концентрацією 24,9% на 1000 кг КАС-32). Оскільки ДМПФ є рідиною зі щільністю 1,07 кг/л, то для зручності використання в польових умовах потрібно перевести його в л/га (7,51 кг/1,07 кг/л=7,02 л ДМПФ на 1000 кг КАС-32). Норма використання інгібітора нітрифікації 3,4-диметилпіразолфосфат на КАС-32 становить 7,02 л на 1000 кг КАС-32. Згідно з наведеною вище калькуляцією розрахункова норма ДМПФ для КАС-32 з нормою 250 кг/га була 1,76 л/га за норми КАС-32, 300 кг/га — 2,11 л/га.

Фон у досліді — $\text{N}_{32}\text{P}_{30}\text{K}_{42}$ (вносили гранульовані добрива НРК 7-20-28 нормою 150 кг/га за сівби та гранульований сульфат

1. Урожайність пшениці озимої залежно від використання різних норм КАС-32 з додаванням інгібітора нітрифікації (2018–2021 рр.), ц/га

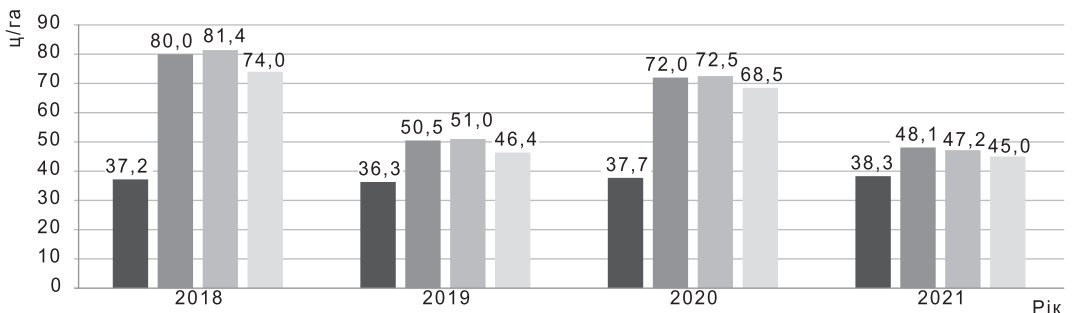
Варіант	Урожайність, ц/га				Середня врожайність, ц/га
	2018	2019	2020	2021	
Без добрив (контроль)	37,2	36,3	37,7	38,3	37,4
$N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га+ДМПФ	80,0	50,5	72,0	48,1	62,7
$N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га+ДМПФ	81,4	51,0	72,5	47,2	63,0
$N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га	74,0	46,4	68,5	45,0	58,5
$HNIP_{05}$	1,33	1,86	2,03	2,49	—

амонію нормою 100 кг/га по мерзлоталому ґрунту). КАС-32 нормою згідно з варіантами дослідів та інгібітор нітрифікації 3,4-диметилпіразолфосфат вносили навесні після відновлення вегетації.

Результати досліджень. Період максимального споживання азоту рослинами пшениці озимої настає на початку фази інтенсивного росту. Пшениця озима посилено споживає азот від фази весняного куціння та до початку колосіння, тобто в період росту вегетативних органів. До настання фази колосіння пшениця озима може поглинати до 78% азоту. Застосування інгібітора нітрифікації за поєданого внесення з азотними добривами у вигляді КАС-32 дало можливість знизити швидкість процесу нітрифікації та зберегти мінеральний азот у ґрунті, зокрема амонійну форму азоту NH_4^+ , яка поступово зазнавала нітрифікації до нітратної форми азоту NO_3^- . Застосування інгібітора нітрифікації разом із КАС-32 забезпечило рослинам наявність доступного азоту в період найбільшої потреби.

Згідно з результатами досліджень (табл. 1, рисунок) урожайність пшениці озимої була

різною залежно від років досліджень. Так, урожайність пшениці озимої в усіх варіантах дослідів була вищою в 2018 (37,2–81,4 ц/га) і 2020 рр. (37,7–72,5 ц/га) порівняно з урожайністю 2019 (36,3–51,0 ц/га) та 2021 рр. (38,3–48,1 ц/га). Середня врожайність пшениці озимої в усіх варіантах дослідів в 2018–2021 рр. становила 37,4–63,0 ц/га. Урожайність пшениці озимої в контрольному варіанті (без добрив) у 2018–2021 рр. була найнижчою — 36,3–38,3 ц/га, що в середньому за 4 роки становило 37,4 ц/га. Урожайність у варіанті $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га без інгібітора нітрифікації в роки досліджень була в межах 45,0–74,0 ц/га, у середньому за 4 роки — 58,5 ц/га. Урожайність у варіантах $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га та $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га з інгібітором нітрифікації в 2018–2021 рр. була найвищою порівняно з іншими варіантами дослідів — 48,1–80,0 ц/га та 47,2–81,4 ц/га, що в середньому становило 62,7 ц/га та 63,0 ц/га. Найвища врожайність була у варіанті $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га з інгібітором нітрифікації за 3 роки досліджень (2018–2020). У 2018 р. приріст



Урожайність пшениці озимої залежно від використання різних норм КАС-32 з додаванням інгібітора нітрифікації (2018–2021 рр.), ц/га: — контроль (без добрив); ■ — $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га+ДМПФ; ■ — $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га+ДМПФ; ■ — $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га

2. Урожайність пшениці озимої залежно від використання різних норм КАС-32 з додаванням інгібітора нітрифікації (2018–2021 рр.), ц/га

Варіант	Середня врожайність, ц/га	+/- до контролю	
		ц/га	%
Без добрив (контроль)	37,4	—	—
$N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га+ДМПФ	62,7	25,3	67,6
$N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га+ДМПФ	63,0	25,6	68,4
$N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га	58,5	21,1	56,4

урожайності становив 44,2 ц/га у порівнянні з контрольним варіантом (без добрив), 7,4 ц/га — у порівнянні з варіантом $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га без інгібітора нітрифікації, 1,4 ц/га — у порівнянні з варіантом $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га з інгібітором нітрифікації. У 2018–2020 рр. приріст урожайності становив 14,7 ц/га, 4,6 та 0,5 ц/га відповідно. Зі збільшенням норми КАС-32 до 300 кг/га з інгібітором нітрифікації не завжди формувалася найвища врожайність. Так, у 2021 р. найкращий результат був у варіанті $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га з інгібітором нітрифікації, урожайність становила 48,1 ц/га. Приріст був 9,8 ц/га у порівнянні з контрольним варіантом (без добрив), 3,1 ц/га — у порівнянні з варіантом $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га без інгібітора нітрифікації та 0,9 ц/га — у порівнянні з варіантом $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га з інгібітором нітрифікації з огляду на те, що норма КАС-32 в останньому була вищою на 50 кг/га (250 кг/га проти 300 кг/га КАС-32) плюс інгібітор нітрифікації в обох варіантах. $НІР_{05}$ у 2018 р. становила 1,33 ц/га, 2019 р. — 1,86, 2020 р. — 2,03, у 2021 р. — 2,49 ц/га. Рівні $НІР_{05}$ за роками були значно нижчими за приріст урожаю, це свідчить про те, що в досліді приріст урожаю перевищує потенційну похибку досліду.

Середня врожайність пшениці озимої в 2018–2021 рр. становила 37,4 ц/га в контрольному варіанті (без добрив), 62,7 ц/га — у варіанті $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га з інгібітором нітрифікації, 58,5 — у варіанті

$N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га без інгібітора нітрифікації, найвища середня врожайність — 63 ц/га була у варіанті $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га з інгібітором нітрифікації (табл. 2). Отже, з використанням інгібітора нітрифікації разом із КАС-32 нормою 300 кг/га у кінцевому результаті отримали істотний приріст (25,6 ц/га) у порівнянні з контрольним варіантом (без добрив), 4,5 ц/га — у порівнянні з варіантом $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га без інгібітора нітрифікації та незначний приріст урожаю 0,3 ц/га — у порівнянні з варіантом зі зниженою нормою КАС-32 в 250 кг/га з інгібітором нітрифікації на фоні $N_{32}P_{30}K_{42}$.

Аналізуючи дані середньої врожайності в порівнянні з контрольним варіантом (без добрив), можна відзначити істотне відхилення в прирості врожайності в усіх варіантах досліду. Так, приріст урожайності в порівнянні з контрольним варіантом (без добрив) у варіанті $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 250 кг/га з інгібітором нітрифікації становив 25,3 ц/га, або 67,6%, у варіантах $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га без інгібітора нітрифікації та $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га з інгібітором нітрифікації — 21,1 ц/га та 25,6 ц/га, або 56,4% та 68,4% відповідно. У варіанті $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га з інгібітором нітрифікації приріст урожайності в порівнянні з варіантом $N_{32}P_{30}K_{42}$ +КАС-32, 300 кг/га без інгібітора нітрифікації був на рівні 4,5 ц/га, або 12%, у варіанті зі зниженою нормою КАС-32, 250 кг/га та інгібітором нітрифікації на фоні $N_{32}P_{30}K_{42}$ він становив 0,3 ц/га, або 0,8%.

Висновки

Експериментальними дослідженнями доведено, що використання інгібітора нітрифікації 3,4-диметилпіразолфосфату

разом із азотним добривом КАС-32 є ефективним агрономічним заходом, що істотно впливав на врожайність

пшениці озимої впродовж усіх 4-х років досліджень (2018–2021). Установлено, що врожайність у варіантах із використанням інгібітора нітрифікації в порівнянні з контролем (без добрив) підвищилася на 25,3–25,6 ц/га (67,6–68,4%). За однакової норми КАС-32, 300 кг/га у варіанті з використанням інгібітора нітрифікації урожайність пшениці озимої збільшилася

на 4,5 ц/га, або 12% у порівнянні з варіантом, де використовували КАС-32 за тієї самої норми без інгібітора нітрифікації. Навіть у варіанті зі зменшеною нормою КАС-32 до 250 кг/га з інгібітором нітрифікації у порівнянні з варіантом зі збільшеною нормою КАС-32, 300 кг/га, але без інгібітора нітрифікації врожайність підвищилася на 4,2 ц/га або 11,2%.

Muntian S.¹, Shatkovskiy A.²

Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS; 37 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine; e-mail: ais_888@ukr.net¹, andriy-1804@ukr.net²; ORCID: ¹0000-0002-8933-9283, ²0000-0002-4366-0397

The effect of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazolephosphate on the productivity of winter wheat when combined with KAS-32

Goal. To establish the expediency and effect of using the nitrification inhibitor 3,4-dimethyl pyrazole phosphate (DMPF) in combination with urea-ammonia mixture (KAS-32) on the yield of winter wheat grain. To determine the difference in the yield of winter wheat using different norms of KAS-32 with and without the addition of DMPF. **Methods.** Field (stationary experiment); laboratory (agrochemical analysis of soil and plant samples); analytical (systematic analysis of long-term results of field experiments and meteorological observations using mathematical and statistical methods, correlation and regression analysis, mathematical modeling, and empirical generalization of established patterns). **Results.** It was confirmed that the use of

DMPF together with KAS-32 significantly influenced the yield of winter wheat. At the same rate of KAS-32, 300 kg/ha in the variant with the use of DMPF, the yield increased by 4.5 t/ha, or 12% compared to the option where KAS-32 was used at the same rate, 300 kg/ha without the use of DMPF. In the variant with a reduced rate of KAS-32, 250 kg/ha with the use of DMPF compared to the option with an increased rate of KAS-32, 300 kg/ha, but without the use of DMPF, the yield increased by 4.2 c/ha or 11.2% over 4 years of research (2018–2021). **Conclusions.** It was established that in the variants using DMPF together with KAS-32, the productivity increased compared to the control (without fertilizers) by 25.3–25.6 t/ha (67.6–68.4%). In the variants using DMPF together with KAS-32 compared to the variant using KAS-32, but without the use of DMPF, the yield increased by 4.2–4.5 t/ha (11.2–12.0%) over 4 years of research (2018–2021).

Key words: nitrogen nutrition, yield, nitrogen losses, ammonium and nitrate nitrogen, denitrification.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202302-08>

Бібліографія

1. Кореньков Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений. Москва: Россельхозиздат, 1985. 221 с.
2. Лаврова И.А. Ингибиторы нитрификации и эффективность азотных удобрений: Обзорная информация. Москва: ВНИИТЭИагропром, 1990. 40 с.
3. Малюга Ю.Е. Теоретическое обоснование эффективности азотных удобрений пролонгированного действия в лесном и сельском хозяйстве Украины. Харьков: ЧПИ «Новое слово», 2006. 438 с.
4. Legg J.O., Allison F.E. A tracer study of nitrogen balance and residual nitrogen availability with 12 soils. *Soil Sei. Soc. Amer. Proc.* 1967. V. 31. № 3. P. 403–406.
5. Chang Yin, Xiaoping Fan, Hao Chen et al. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate is an effective and specific inhibitor of soil ammonia-oxidizing bacteria. *Biology and Fertility of Soils.* 2021. P. 6–7. doi: 10.1007/s00374-021-01565-1
6. Folina A., Tataridas A., Mavroeidis A. et al. Evaluation of Various Nitrogen Indices in N-Fertilizers with Inhibitors in Field Crops: A Review. *Agronomy.* 2021. V 11. № 418. P. 1–3. doi: 10.3390/agronomy11030418
7. Муравин Э. А. Ингибиторы нитрификации. Москва: Агропромиздат, 1989. 247 с.
8. Chunlian Q., Lingli L., Shuijin H. et al. How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. *Global Change Biology.* 2015. V. 21. № 1249–1257. P. 3–5. doi: 10.1111/gcb.12802
9. Shu K.L., Helen S., Arvin R.M., Deli C. Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: a double-edged sword. Crop and Soil Science Section. *Faculty of Veterinary and Agricultural Sciences. The University of Melbourne.* VIC 3010. Australia. 2016. P. 4–6.
10. Zerulla W., Barth T., Dressel J. et al. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) — a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biol Fertil Soils.* 2001. V. 34. № 79–84. P. 1–4.
11. Commission regulation (EU) № 1257/2014 amending Regulation (EC) No 2003/2003 of the European Parliament and of the Council relating to fertilizers for the purposes of adapting Annexes I and IV. 2014. P. 12.