



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 633.11:631.8

© 2024

НОРМАЛІЗОВАНИЙ ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ІНДЕКС РІПАКУ ОЗИМОГО ЗАЛЕЖНО ВІД РІЗНИХ НОРМ АЗОТНИХ ДОБРИВ ЗА ПОЄДНАНОГО ВИКОРИСТАННЯ ІНГІБІТОРА НІТРИФІКАЦІЇ

С.В. Мунтян¹, А.П. Шатковський², М.І. Федорчук³, Р.В. Сайдак⁴

^{1,4}кандидати сільськогосподарських наук

²доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН

³доктор сільськогосподарських наук

^{1,2,4}Інститут водних проблем і меліорації НААН

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

³Миколаївський національний аграрний університет

вул. Георгія Гонгадзе, 9, м. Миколаїв, 54000, Україна

e-mail: ¹ais_888@ukr.net, ²andriy-1804@ukr.net, ³mfedorchuk01@gmail.com, ⁴saidak_r@ukr.net

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

³0000-0001-7028-0915, ⁴0000-0002-0213-0496

Надійшла 01.03.2024

Мета. Установити взаємозв'язок і фактичну кореляцію між рівнем нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (НДВІ) та врожайністю насіння ріпаку озимого за поєднаного використання різних норм азотних добрив у вигляді КАС-32 та інгібітора нітрифікації (ІН) 3,4-диметилпіразолфосфат. **Методи.** Польовий (стаціонарний дослід), лабораторний (агрохімічний аналіз ґрунтових і рослинних зразків), аналітичний (системний аналіз багаторічних результатів польового дослідження і метеорологічних спостережень), математико-статистичний, кореляційного і регресивного аналізів, математичного моделювання та емпіричного узагальнення встановлених закономірностей. **Результати.** Нормалізований диференційний вегетаційний індекс у середньому за 3 міс. у варіантах дослідження був вищим у 2018 р. (0,43–0,52), урожайність ріпаку озимого також була на найвищому рівні (3,12–3,85 т/га). В інші 2 роки досліджень (2020 та 2021) НДВІ в середньому за 3 міс. у варіантах дослідження був нижчим порівняно з 2018 р. і становив у 2020 р. 0,38–0,45, 2021 р. — 0,36–0,41. Урожайність ріпаку озимого також була на нижчому рівні в 2020 та 2021 р. досліджень порівняно з 2018 р., у 2020 р. вона становила 2,21–2,98 т/га, 2021 р. — 2,11–2,70 т/га. **Висновки.** Установлено, що коефіцієнт кореляції НДВІ

з урожайністю ріпаку озимого був високим (0,95–1,0) за вимірів у квітні в усіх варіантах дослідів за всіма роками досліджень.

Ключові слова: інгібітор нітрифікації, 3,4-диметилпіразолфосфат, карбамідно-аміачна суміш, урожайність.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202405-05>

Методи віддаленого моніторингу можна успішно використовувати для досліджень різних сільськогосподарських культур, зокрема при вирощуванні ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) застосовують точне землеробство, моніторинг і картографування посівів. Залежно від різноманітності платформ агрономічне сенсування як метод моніторингу може класифікуватися на приземне, повітряне та супутникове віддалене сенсування [1–3]. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (НДВІ) — один із вегетаційних індексів, останніми роками набув найбільшого поширення як метод супутникового сканування [4–6]. Безпосередньо моніторингом посівів ріпаку ярого та озимого за допомогою НДВІ займалися багато дослідників. Так, автори [7] у штаті Орегон (США) досліджували площу листової поверхні та густоту цвітіння ріпаку ярого в 3-х водних режимах і 3-х рівнях азотного живлення за допомогою спектрального сканування. Дослідження на ріпаку озимому, проведені в Китаї (на півночі провінції Джеянґ), показали вищу точність сканування з використанням індексу НДВІ, який можна застосовувати для моніторингу росту та розвитку рослин, вологості ґрунту, захворюваності рослин, розповсюдження бур'янів, а також у точному землеробстві [8]. Дослідження в Чехії (район Праги) на пшениці озимій та ріпаку озимому показали кореляцію між стадіями росту і розвитку рослин та індексом НДВІ, також відзначено, що показники НДВІ ріпаку озимого до стадії цвітіння не підвищувалися і не знижувалися [9]. Автори [7] довели, що використання індексу НДВІ є доцільним при вимірюванні пошкодження ріпаку озимого від приморозків, особливо важливо фіксувати відмінності

в рості та розвитку рослин у період до та після приморозків [10]. Дослідження в Нижній Саксонії (Німеччина), проведені в 2019–2021 рр. з моніторингу стадій росту ріпаку озимого за допомогою НДВІ, показали можливість такого використання на стадіях проростання, розвитку листового апарату, цвітіння, дозрівання. Показники НДВІ при скануванні були вищими порівняно з показниками іншого вегетаційного індексу [11].

Актуальним є проведення дослідів в Україні з аналізу та визначення взаємозв'язку між НДВІ та врожайністю ріпаку озимого залежно від норм азотних добрив та інгібітора нітрифікації.

Мета досліджень — установити взаємозв'язок і фактичну кореляцію між рівнем НДВІ та врожайністю ріпаку озимого за поєднаного використання різних норм азотних добрив у вигляді КАС-32 та інгібітора нітрифікації.

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 однофакторного дослідів. Посівна площа дослідної ділянки — 0,6 га, чергування варіантів — послідовне. Польові досліді закладали й виконували згідно з методикою

польових дослідів [Б.О. Доспєхов, 1985]. Обліковували врожай ріпаку озимого методом суцільного збирання та зважування бункерної маси з кожної ділянки з наступним перерахунком на стандартну вологість і засміченість згідно з ДСТУ 224093 у 3-разовій повторності. Математико-статистичне обчислення даних здійснювали за допомогою програмно-інформаційного комплексу «Agrostat». Нормалізований диференційний вегетаційний індекс визначали за знімками із супутників WorldView-2, WorldView-3, Geoeye-1 (Maxar USA). Знімання проведено окремим супутником залежно від його розміщення та рівня хмарності тричі за вегетаційний період — у квітні, травні та червні.

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 інгібітора нітрифікації (ІН) 3,4-диметилпіразолфосфат (ДМПФ) (ЄС № 424-640-9) як мінімум 0,8% і максимум 1,6% [12]. Відповідно до регулювання використовували мінімальну норму ІН ДМПФ у 0,8% на амідній NH_2^- та амонійній NH_4^+ формах азоту. Згідно з цією мінімальною розрахунковою нормою 0,8%-ва норма використання ІН ДМПФ 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 300 кг/га була 2,11 л/га, за норми КАС-32, 350 кг/га — 2,45 л/га.

У досліді використовували такі варіанти з унесенням відповідних норм добрив: фон — $\text{N}_{10}\text{P}_{30}\text{K}_{40}$, вносили гранульовані добрива NPK 7-20-28 нормою 150 кг/га за сівби; фон+ N_{120} +ІН, додатково вносили гранульований сульфат амонію нормою 100 кг/га по мерзлоталому ґрунту та КАС-32 нормою 300 кг/га з додаванням ІН навесні після відновлення вегетації; фон+ N_{130} +ІН, додатково вносили гранульований сульфат амонію нормою 100 кг/га по мерзлоталому ґрунту та КАС-32 нормою 350 кг/га з додаванням

ІН навесні після відновлення вегетації; фон+ N_{130} , додатково вносили гранульований сульфат амонію нормою 100 кг/га по мерзлоталому ґрунту та КАС-32 нормою 350 кг/га без додавання ІН навесні після відновлення вегетації.

У суміші з КАС інгібітор нітрифікації дає змогу зберегти основний запас мінерального азоту на довший період часу до моменту найбільшої необхідності для рослини. Саме інгібітор нітрифікації в суміші з КАС здатний не лише пролонгувати використання наявного азоту в ґрунті, а й значно оптимізувати його засвоєння рослинами.

Результати досліджень. Нормалізований диференційний вегетативний індекс — це показник віддаленого моніторингу сільськогосподарських культур, який розраховують за допомогою супутникових знімків. Він залежить від відбивання та поглинання світлових хвиль рослинами різної довжини і показує якість та кількість рослин на певній ділянці поля. Згідно з результатами досліджень, НДВІ ріпаку озимого залежно від різних норм азотних добрив із додаванням інгібітора нітрифікації до КАС-32 за квітень, травень та червень різнився за роками досліджень (2018–2021 рр.) (табл. 1). Так, у середньому за 3 міс. (квітень, травень, червень) у варіанті $\text{N}_{10}\text{P}_{30}\text{K}_{40}$ (фон) у 2018 р. НДВІ був найвищим — 0,43 порівняно з 0,38 у 2020 та 0,36 — у 2021 р. Така сама тенденція спостерігалася й в інших варіантах дослідів. У варіанті фон+ N_{120} +ІН НДВІ становив у 2018 р. 0,49, 2020 — 0,43, у 2021 — 0,39; у варіанті фон+ N_{130} +ІН НДВІ у 2018 р. був 0,51, 2020 — 0,45, у 2021 р. — 0,40; у варіанті фон+ N_{130} НДВІ у 2018 р. становив 0,52, 2020 — 0,45, у 2021 р. — 0,41.

Відзначено, що НДВІ знижується з квітня до червня, що логічно з позиції його розвитку впродовж вегетаційного періоду.

Також чітку тенденцію до підвищення рівня НДВІ зі збільшенням норм унесеного азоту та застосуванням інгібітора нітрифікації. Так, у середньому за квітень–червень 2018 р. у варіанті $\text{N}_{10}\text{P}_{30}\text{K}_{40}$

1. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс ріпаку озимого залежно від використання різних норм азотних добрив із додаванням інгібітора нітрифікації (2018–2021 рр.), т/га

Варіант досліджу	Місяць виміру	Рік досліджень			Коефіцієнт кореляції
		2018	2020	2021	
N ₁₀ P ₃₀ K ₄₀ (фон)	Квітень	0,53	0,46	0,44	0,99
	Травень	0,47	0,41	0,39	0,99
	Червень	0,30	0,28	0,26	0,91
	Середнє	0,43	0,38	0,36	–
Фон+N ₁₂₀ +ІН	Квітень	0,58	0,49	0,48	1,00
	Травень	0,56	0,50	0,43	0,88
	Червень	0,34	0,30	0,27	0,94
	Середнє	0,49	0,43	0,39	–
Фон+N ₁₃₀ +ІН	Квітень	0,60	0,51	0,49	1,00
	Травень	0,58	0,51	0,44	0,97
	Червень	0,35	0,32	0,28	0,94
	Середнє	0,51	0,45	0,40	–
Фон+N ₁₃₀	Квітень	0,61	0,51	0,50	0,95
	Травень	0,59	0,52	0,45	0,72
	Червень	0,35	0,32	0,29	0,72
	Середнє	0,52	0,45	0,41	–

(фон) НДВІ становив 0,43, у варіанті фон+N₁₂₀+ІН він підвищувався до 0,49, у варіанті фон+N₁₃₀+ІН — до 0,51, у варіанті фон+N₁₃₀ — до 0,52. Така сама тенденція була і в 2020 р. — підвищення у зазначених вище варіантах становило з 0,38 до 0,43, 0,45 та до 0,45, у 2021 р. — з 0,36 до 0,39, 0,40 та до 0,41 відповідно. Коефіцієнт кореляції НДВІ з урожайністю був на рівні 0,95–1,0 за вимірів НДВІ у квітні в усіх варіантах досліджу.

Згідно з результатами досліджень (табл. 2), урожайність ріпаку озимого була

різною залежно від років (2018–2021 рр.). Так, урожайність ріпаку озимого в усіх варіантах досліджу була вищою в 2018 р. (3,12–3,85 т/га), у 2020 та в 2021 р. становила 2,11–2,98 т/га. У 2018 р. НІР₀₅ був 0,312 т/га, 2020 р. — 0,266, 2021 р. — 0,363 т/га. Середня врожайність ріпаку озимого в усіх варіантах досліджу в роки досліджень була в межах 2,48–3,16 т/га.

Простежується чітка тенденція до підвищення врожайності ріпаку озимого за роками досліджень і варіантами досліджу, починаючи з контрольного варіанта

2. Урожайність ріпаку озимого залежно від використання різних норм азотних добрив із додаванням інгібітора нітрифікації (2018–2021 рр.), т/га

Варіант	Урожайність, т/га			Середня врожайність, т/га
	2018	2020	2021	
N ₁₀ P ₃₀ K ₄₀ (фон)	3,12	2,21	2,11	2,48
Фон+N ₁₂₀ +ІН	3,70	2,79	2,70	3,06
Фон+N ₁₃₀ +ІН	3,85	2,98	2,66	3,16
Фон+N ₁₃₀	3,45	2,31	2,60	2,79
НІР ₀₅	0,312	0,266	0,363	–

$N_{10}P_{30}K_{40}$ (фон) і зі збільшенням норми азоту та використанням ІН у варіантах досліду фон+ N_{120} +ІН та фон+ N_{130} +ІН і з подальшим незначним зниженням у варіанті досліду з максимальною нормою азотних добрив, але без використання ІН (фон+ N_{130}). Так, у 2018 р. врожайність у контрольному варіанті становила 3,12 т/га, у варіантах досліду фон+ N_{120} +ІН та фон+ N_{130} +ІН вона підвищувалася до 3,70 т/га та 3,85 т/га й знижувалася у варіанті досліду фон+ N_{130} до 3,45 т/га. Така сама тенденція спостерігалася

і в 2020 р. — урожайність підвищилася з 2,21 до 2,79 т/га та 2,98 т/га і незначно знизилася до 2,31 т/га, у 2021 р. вона підвищилася з 2,11 до 2,70 та 2,66 т/га і незначно знизилася до 2,60 т/га. У середньому за 3 роки досліджень урожайність також підвищувалася від контрольного варіанта $N_{10}P_{30}K_{40}$ (фон) з 2,48 до 3,06 та до 3,16 т/га у варіантах фон+ N_{120} +ІН та фон+ N_{130} +ІН і в подальшому знижувалася у варіанті досліду з максимальною нормою азотних добрив, але без використання ІН (фон+ N_{130}) до 2,79 т/га.

Висновки

Результатами експериментальних досліджень доведено, що НДВІ корелює з урожайністю ріпаку озимого. Установлено, що НДВІ у середньому за 3 міс. у варіантах досліду найвищим був у 2018 р. (0,43–0,52). Урожайність ріпаку озимого в 2018 р. також була на найвищому рівні (3,12–3,85 т/га). В інші 2 роки досліджень (2020 та 2021) НДВІ у середньому за 3 міс. у варіантах досліду був

нижчим порівняно з 2018 р. і становив у 2020 р. 0,38–0,45, 2021 р. — 0,36–0,41. Урожайність ріпаку озимого також була нижчою в 2020 та 2021 р. досліджень порівняно з 2018 р. У 2020 р. вона становила 2,21–2,98 т/га, у 2021 р. — 2,11–2,70 т/га. Коефіцієнт кореляції НДВІ з урожайністю ріпаку озимого був на рівні 0,95–1,0 у квітні в усіх варіантах досліду й за всіма роками досліджень.

Muntian S.¹, Shatkovskiy A.², Fedorchuk M.³, Saidak R.⁴

^{1, 2, 4}Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS; 37 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine; ³Mykolaiv National Agrarian University; 9 G. Gongadze Str., Mykolaiv, 54000, Ukraine; e-mail: ¹ais_888@ukr.net, ²andriy-1804@ukr.net, ³mfedorchuk01@gmail.com, ⁴saidak_r@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-8933-9283, ²0000-0002-4366-0397, ³0000-0001-7028-0915, ⁴0000-0002-0213-0496

Normalized differential vegetation index of winter rape depending on different rates of nitrogen fertilizers with the combined use of a nitrification inhibitor

Goal. To determine the relationship and actual correlation between the level of the normalized differential vegetation index (NDVI) and the yield of winter rape seed under the combined use of different rates of nitrogen fertilizers in the form of KAS-32 and the nitrification inhibitor (NI) 3,4-dimethyl pyrazole phosphate. **Methods.** Field (stationary experiment), laboratory (agrochemical analysis of soil and plant samples), analytical (systemic analysis

of long-term field experiment results and meteorological observations), mathematical-statistical, correlation and regression analyses, mathematical modeling, and empirical generalization of the established patterns. **Results.** NDVI (in an average of 3 months) in the variants of the experiment was higher in 2018 (0.43–0.52), the yield of winter rape was also at the highest level in 2018 (3.12–3.85 t/ha). In the other 2 years of research (2020 and 2021), NDVI (averaged over 3 months in the variants of the experiment) was lower compared to 2018 and was 0.38–0.45 in 2020, and 0.36–0.41 in 2021. The yield of winter rape was also at a lower level in 2020 and 2021 of the research compared to 2018, in 2020 it was 2.21–2.98 t/ha, and in 2021 — 2.11–2.70 t/ha. **Conclusions.** It was established that the correlation coefficient of NDVI with the productivity of winter rape was high (0.95–1.0) for measurements in April in all variants of the experiment and for all years of research.

Key words: nitrification inhibitor, 3,4-dimethylpyrazole phosphate, carbamide-ammonia mixture, productivity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202405-05>

Бібліографія

1. Huang Y., Chen Z., Yu T. et al. Agricultural remote sensing big data: Management and applications. *J. Integr. Agric.* 2018. V.7. P. 1915–1931.
2. Maes W.H., Steppe K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends Plant Sci.* 2019. V. 24. P. 152–154.
3. Teke M., Deveci H.S., Haliloğlu O. et al. A short survey of hyperspectral remote sensing applications in agriculture. In *Proceedings of the 2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*. Istanbul, Turkey. 12 June 2013. P. 171–176.
4. Nilsson H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annual Review Phytopathology.* 1995. V. 33. P. 489–528.
5. Kouadio L., Newlands N., Dawidson A. et al. Assessing the performance of MODIS NDVI and EVI for seasonal crop yield forecasting at ecodistrict scale. *Remote Sens.* 2014. V. 6. P. 10193–10214.
6. Hatfield J.L., Gitelson A.A., Schepers J.S., Walthall C.L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy J.* 2008. V. 100 (1). P. 121–127.
7. Sulik J.J., Long D.S. Spectral indices for yellow canola flowers. *Int. J. Remote Sens.* 2015. V. 36. P. 2751–2765.
8. Han J., Wei C., Chen Y., Weiwei L. Mapping Above-Ground Biomass of Winter Oilseed Rape Using High Spatial Resolution Satellite Data at Parcel Scale under Waterlogging Conditions. *Int. J. Remote Sens.* 2017. V. 9 (3). P. 17.
9. Dominguez J.A., Kumhalova J., Novak P. Winter oilseed rape and winter wheat growth prediction using remote sensing methods. *Plant Soil Environment.* 2015. V. 61, № 9. P. 410–416.
10. She B., Huang J., Guo R., Wang H. Assessing winter oilseed rape freeze injury based on Chinese HJ remote sensing data. *J. of Zhejiang University SCIENCE.* 2015. V. 16, № 2. P. 131–144.
11. Zamani-Noor N., Feistkorn D. Monitoring Growth Status of Winter Oilseed Rape by NDVI and NDYI Derived from UAV-Based Red–Green–Blue Imagery. *Agronomy.* 2022. V. 12. P. 14–16.
12. Commission regulation (EU) № 1257/2014 amending Regulation (EC) № 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.