

## НОРМАЛІЗОВАНИЙ ДИФЕРЕНЦІЙНИЙ ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ІНДЕКС КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД НОРМ АЗОТНИХ ДОБРИВ ТА ІНГІБИТОРА НІТРИФІКАЦІЇ

**МУНТЯН С.В.** – кандидат сільськогосподарських наук

*orcid.org/0000-0002-8933-9283*

Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

**ШАТКОВСЬКИЙ А.П.** – доктор сільськогосподарських наук, професор,

член кореспондент Національної академії аграрних наук України

*orcid.org/0000-0002-4366-0397*

Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

**ФЕДОРЧУК М.І.** – доктор сільськогосподарських наук, професор

*orcid.org/0000-0001-7028-0915*

Миколаївський Національний аграрний університет

**САЙДАК Р.В.** – кандидат сільськогосподарських наук

*orcid.org/0000-0002-0213-0496*

Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України

**Постановка проблеми.** При вирощуванні сільськогосподарських культур для прогнозування потенційної врожайності та менеджменті посівів використовують різні методи моніторингу які є найбільш технологічними, точними та заощаджують витрати енергії на одиницю площі [1; 2; 3]. Моніторинг великих площ посівів класичними методами ускладнюється з огляду на розміщення культур в природі, стадію та фазою розвитку різних культур та погодними умовами [4; 5; 6]. Візуальна діагностика посівів або відбір зразків, зазвичай потребують людських ресурсів, часових витрат, є витратними процедурами та за часту виявляються неточними і невідповідними щоб оцінити зміни в розвитку рослин [7; 8]. Дистанційне сканування може використовуватися як одне із основних технологій для моніторингу захворювання рослин, забур'янення та прогнозування потенційного врожаю. Для цієї мети в останні роки найбільшого поширення отримали вегетаційні індекси а саме нормалізований диференційний вегетаційний індекс (НДВІ) [9; 10; 11; 12]. Даний індекс фіксує спектри видимого та інфрачервоного випромінювання, що ґрунтується на відбивній здатності хвиль на різних частотах що поглинаються та відстежує покриття вегетативної активної біомаси та її щільність [13; 14]. До того ж спектр інфрачервоного випромінювання має високу поглинальну здатність саме хлорофілу, тому індекс НДВІ є оптимальним для прогнозування рівня хлорофілу в рослинах [15]. В свою чергу азотні добрива впливають на рівень хлорофілу та мають ключову роль у формуванні врожайності сільськогосподарських культур в тому числі і кукурудзи [16; 17; 18; 19]. Але при використанні азотних добрив існують його втрати в процесі трансформації різних форм азоту таких як амоніфікація та нітрифікація. Насамперед, в процесі нітрифікації втрати азоту відбуваються в результаті вимивання нітратів в нижні горизонти ґрунту та в процесі денітрифікації такі втрати відбуваються в результаті випаровування у газоподібних формах, такі втрати можуть становити до 2530% від загальної кількості внесеного азоту [20; 21; 22]. В процесі сільськогосподарського виробництва можуть використовуватися спеціальні хімічні сполуки

такі як інгібітори які можуть знизити втрати азоту до суттєвого показника в 50% в залежності від специфічного інгібітора та норми його використання. В процесі нітрифікації на етапі перетворення з амонійного азоту  $\text{NH}_4^+$  в нітратний азот  $\text{NO}_3^-$  використовують саме інгібітори нітрифікації, та одним із самих ефективних інгібіторів нітрифікації на сьогоднішній день є 3,4-диметилпіразолфосфат (ДМПФ) що відноситься до групи піразолів [23; 24; 25; 26; 27; 28]. В свою чергу всі інгібітори офіційно регулюються на законодавчому рівні. Регулювання щодо інгібітору нітрифікації 3,4-диметилпіразолфосфат було запроваджене 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 [29]. Вивчення взаємозв'язку між нормалізованим диференційним вегетативним індексом та урожайністю кукурудзи залежно від норм азотних добрив та інгібітора нітрифікації є актуальним напрямком роботи.

**Метою досліджень було** встановити взаємозв'язок та фактичну кореляцію між рівнем нормалізованого диференційного вегетаційного індексу та урожайністю кукурудзи при умові використання різних норм азотних добрив у вигляді КАС-32 за поєднаного використання інгібітора нітрифікації.

**Матеріали та методика 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 – 5,77,0, уміст рухомих форм фосфору – від високого і дуже високого – 15,426,3 мг/100 г ґрунту, обмінного калію – від середнього до високого – 7,116,2 мг/100 г ґрунту, легкогідролізованого азоту – від підвищеного до високого – 5,77,9 мг/100 г ґрунту. Дослідження проводили за схемою однофакторного 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 кукурудзи проводили 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 обрахування даних здійснювали за допомогою програмно-інформаційного комплексу «Agrostat». Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (НДВІ) визначався в результаті знімків з супутників WorldView-2, WorldView-3, Geoeye-1 (Maxar USA). Знімки проводилися окремим супутником в залежності від його розміщення та рівня хмарності три рази за вегетаційний період в червні, липні та серпні.

Згідно рішення регуляторної комісії Європейського Союзу № 1257/2014, що коригує впорядкування ЕС № 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) (ЕС № 424-640-9) як мінімум 0,8% і максимум 1,6% [29]. Відповідно до регулювання використовували мінімальну норму ІН ДМПФ у 0,8% на амідному  $\text{NH}_2$ - та амонійному  $\text{NH}_4^+$  формах азоту. Згідно цієї мінімальної розрахункової норми в 0,8% 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 використовувалися наступні варіанти з внесенням 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+ $\text{N}_{120}$ +ІН додатково вносили гранульований сульфат амонію нормою 100 кг/га та КАС-32 нормою 300 кг/га з додаванням ІН на весні.

Фон+ $\text{N}_{130}$ +ІН додатково вносили гранульований сульфат амонію нормою 100 кг/га та КАС-32 нормою 350 кг/га з додаванням ІН на весні.

Фон+ $\text{N}_{130}$  додатково вносили гранульований сульфат амонію нормою 100 кг/га та КАС-32 нормою 350 кг/га без додавання ІН на весні.

В суміші з КАС, інгібітор нітрифікації дає змогу зберегти основний запас мінерального азоту на більш довший період часу до моменту найбільшої необхідності для рослини. Саме інгібітор нітрифікації в суміші з КАС здатен не тільки пролонгувати використання наявного азоту в ґрунті, але і значно оптимізувати його засвоєння рослинами.

**Результати досліджень.** Показник НДВІ показує якість та кількість рослин на певній ділянці поля. Він розраховується супутниковими зйомками та залежить від того як рослини відбивають та поглинають світлові хвилі різної довжини. Згідно результатів досліджень НДВІ кукурудзи по всіх роках досліджень 2018-2021 відрізнявся в різні місяці та був на найвищому рівні в червні і знижувався в липні та також знижувався в серпні (табл. 1). Так рівень НДВІ в червні був найвищим по рокам досліджень і знаходився на рівні 0,73-0,80 в 2018 році, 0,65-0,67 в 2019 році, 0,72-0,78 в 2020 році та 0,65-0,72 в 2021 році. В липні НДВІ був нижчим ніж у червні, так в липні по рокам досліджень він був в межах 0,62-0,69 в 2018 році, 0,62-0,66 в 2019 році, 0,62-0,67 в 2020 році та 0,52-0,54 в 2021 році. В серпні НДВІ був відповідно нижчим ніж у липні та коливався в межах 0,49-0,57 в 2018 році, 0,48-0,53 в 2019 році, 0,54-0,60 в 2020 році та 0,39-0,40 в 2021 році.

Аналізуючи НДВІ в розрізі варіантів досліду то прослідковується чітка тенденція відповідності рівнів НДВІ залежно від різних норм азотних добрив та від використання ІН як окремо по місяцям виміру так і в середньому

Таблиця 1

**Нормалізований диференційний вегетаційний індекс кукурудзи залежно від використання різних норм азотних добрив з додаванням інгібітора нітрифікації (2018–2021 рр.)**

Варіанти досліду	Місяці виміру	Роки дослідження				Коефіцієнт кореляції
		2018	2019	2020	2021	
$\text{N}_{10}\text{P}_{30}\text{K}_{40}$ (фон)	Червень	0,73	0,65	0,72	0,65	0,47
	Липень	0,62	0,62	0,62	0,52	-0,44
	Серпень	0,49	0,48	0,54	0,39	-0,26
	Середнє	0,61	0,58	0,63	0,52	-
Фон+ $\text{N}_{120}$ +ІН	Червень	0,77	0,67	0,75	0,72	0,49
	Липень	0,65	0,66	0,66	0,54	-0,67
	Серпень	0,54	0,52	0,58	0,40	-0,61
	Середнє	0,65	0,62	0,66	0,55	-
Фон+ $\text{N}_{130}$ +ІН	Червень	0,78	0,67	0,76	0,71	0,42
	Липень	0,67	0,65	0,67	0,54	-0,25
	Серпень	0,56	0,52	0,59	0,40	-0,30
	Середнє	0,67	0,61	0,67	0,55	-
Фон+ $\text{N}_{130}$	Червень	0,80	0,65	0,78	0,71	0,55
	Липень	0,69	0,66	0,66	0,53	-0,32
	Серпень	0,57	0,53	0,60	0,40	-0,37
	Середнє	0,69	0,61	0,68	0,55	-

за три місяці по всіх роках досліджень 2018-2021. Так, в 2018 році на контрольному варіанті  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (фон) рівень НДВІ був на найнижчому рівні в червні, липні та серпні 0,73; 0,62 та 0,49 відповідно що в середньому за три місяці становило 0,61. В тому ж самому 2018 році із збільшенням норми азоту та додаванням ІН НДВІ підвищувався, так на варіанті досліді Фон+ $N_{120}$ +ІН в червні, липні та серпні НДВІ становив 0,77; 0,65 та 0,54 що в середньому за три місяці складало 0,65. НДВІ дещо підвищувався на варіанті досліді із збільшеною нормою азоту Фон+ $N_{130}$ +ІН та становив в червні, липні та серпні 0,78; 0,67 та 0,56, що в середньому за три місяці складало 0,67. Найвищим рівень НДВІ спостерігався на варіанті досліді із збільшеною нормою азоту але без використання ІН Фон+ $N_{130}$  та складав по місяцях досліджень 0,80 в червні, 0,69 в липні та 0,57 в серпні та в середньому за три місяці 0,69. Схожа тенденція прослідковувалась і по іншим рокам досліджень, а саме в 2019-2021. Найнижчий рівень НДВІ спостерігався на контрольному варіанті  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (фон) в червні, липні та серпні та в середньому за три місяці в 2019 році як 0,66; 0,62; 0,48 та 0,58, в 2020 році 0,72; 0,62; 0,54 та 0,63, та в 2021 році 0,65; 0,52; 0,39 та 0,52. Рівень НДВІ підвищувався із збільшенням норми азоту та додавання ІН. Так на варіанті досліді Фон+ $N_{120}$ +ІН рівень НДВІ становив в червні, липні та серпні та в середньому за три місяці в 2019 році як 0,67; 0,66; 0,52 та 0,62, в 2020 році 0,75; 0,66; 0,58 та 0,66, та в 2021 році 0,65; 0,52; 0,39 та 0,52. А на варіанті досліді Фон+ $N_{130}$ +ІН рівень НДВІ становив в червні, липні та серпні та в середньому за три місяці в 2019 році як 0,67; 0,65; 0,52 та 0,61, в 2020 році 0,76; 0,67; 0,59 та 0,67, та в 2021 році 0,71; 0,54; 0,40 та 0,55. Найвищий рівень НДВІ спостерігався на варіанті із збільшеною нормою азоту Фон+ $N_{130}$  але без додавання ІН. Так рівень НДВІ становив в червні, липні та серпні та в середньому за три місяці в 2019 році як 0,65; 0,66; 0,53 та 0,61, в 2020 році 0,78; 0,66; 0,60 та 0,68, та в 2021 році 0,71; 0,53; 0,40 та 0,55 відповідно. Коефіцієнт кореляції був позитивним лише в червні по всіх варіантах досліді та коливався в межах 0,42-0,55. Коефіцієнт кореляції мав негативне значення в липні та серпні по всіх варіантах досліді та коливався в межах від -0,25 до -0,67.

Якщо розглядати НДВІ кукурудзи по рокам досліджень то прослідковується тенденція що в різні роки рівень НДВІ мав різні дані. Так, в середньому за три

місяці по всіх варіантах досліді НДВІ був найвищим в 2018 році в межах 0,61-0,69 з незначним зниженням в 2020 році в межах 0,63-0,68. Натомість рівень НДВІ в середньому за три місяці по всіх варіантах досліді в 2019 та в 2021 роках досліджень був нижчим порівняно з 2018 та 2020 роками в межах 0,58-0,62 в 2019 році та 0,52-0,55 в 2021 році відповідно.

Аналізуючи дані урожайності кукурудзи по 2018-2021 роках досліджень видно що в цілому урожайність була на високому рівні але дещо коливалась по роках (табл. 2). Так високий рівень урожайності кукурудзи спостерігався в 2018 та в 2021 роках, і становила по варіантах досліді від 86,0 ц/га до 110,2 ц/га,  $НІР_{05}$  в цьому році становив 8,87 ц/га. Також високий рівень урожайності кукурудзи спостерігався і 2021 році в межах від 85,7 ц/га до 111,9 ц/га,  $НІР_{05}$  в 2020 році склав 2,75 ц/га. Відносно нижчий рівень врожайності кукурудзи спостерігався в 2019 та 2020 роках досліджень та коливався в межах від 72,0 ц/га до 88,9 ц/га при  $НІР_{05}$  3,35 ц/га в 2019 році та в межах від 81,7 ц/га до 86,6 ц/га при  $НІР_{05}$  2,91 ц/га в 2020 році. Середня урожайність кукурудзи по варіантах досліді за 2018-2021 роки досліджень коливалась в межах від 81,4 ц/га до 97,5 ц/га.

Стосовно аналізу урожайності кукурудзи відносно підвищенням норми азотних добрив та використанням ІН то прослідковувалась чітка тенденція зростання урожайності кукурудзи як окремо по рокам та і в середньому за 4 роки досліджень відносно цих двох факторів. На контрольному варіанті  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (фон) урожайність кукурудзи була на найнижчому рівні і складала 86,0 ц/га в 2018 році, 72,0 ц/га в 2019 році, 81,7 ц/га в 2020 році та 85,7 ц/га в 2021 році що в середньому за 4 роки становило 81,4 ц/га. Із підвищенням норми азотних добрив та застосуванням ІН урожайність кукурудзи також підвищувалась. Так на варіанті Фон+ $N_{120}$ +ІН урожайність кукурудзи складала 110,2 ц/га в 2018 році, 82,7 ц/га в 2019 році, 85,1 ц/га в 2020 році та 111,9 ц/га в 2021 році що в середньому за 4 роки досліджень становило 97,5 ц/га. При подальшому підвищенні норми азотних добрив до  $N_{130}$  та із застосуванням ІН урожайність кукурудзи підвищувалась лише в 2019 та 2020 роках, тоді як в 2018 та 2021 такого підвищення не спостерігалось в порівнянні з варіантом нормою азотних добрив до  $N_{120}$  та із застосуванням ІН. Так на варіанті Фон+ $N_{130}$ +ІН урожайність кукурудзи в 2018-2021 роках становила 105,9 ц/га, 88,9 ц/га,

Таблиця 2

**Урожайність кукурудзи залежно від використання різних норм азотних добрив з додаванням інгібітора нітрифікації (2018–2021 рр.), ц/га**

Варіант	Урожайність, ц/га				Середня урожайність 2018-2021, ц/га
	2018	2019	2020	2021	
Кукурудза					
$N_{10}P_{30}K_{40}$ (фон)	86,0	72,0	81,7	85,7	81,4
Фон+ $N_{120}$ +ІН	110,2	82,7	85,1	111,9	97,5
Фон+ $N_{130}$ +ІН	105,9	88,9	86,6	99,5	95,2
Фон+ $N_{130}$	99,7	77,5	83,8	97,7	89,7
$НІР_{05}$	8,87	3,35	2,91	2,75	–

86,6 ц/га та 99,5 ц/га відповідно за середньої урожайності за 4 роки в 95,2 ц/га.

При тій самій нормі азотних добрив  $N_{130}$  але без використання ІН на варіанті Фон+ $N_{130}$  урожайність була вищою від контрольного варіанту  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (фон) по всім 4 рокам досліджень але нижчою від варіанту з тією ж самою нормою азотних добрив та використанням ІН, варіант Фон+ $N_{130}$ +ІН та також нижчою від варіанту з зниженою нормою азотних добрив та з використанням ІН (Фон+ $N_{120}$ +ІН). Так на варіанті Фон+ $N_{130}$  урожайність кукурудзи становила 99,7 ц/га в 2018 році, 77,5 ц/га в 2019 році, 83,8 ц/га в 2020 році та 97,7 ц/га в 2021 році що в середньому за 4 роки досліджень склала 89,7 ц/га.

**Висновки.** Встановлено, що найвищий рівень НДВІ кукурудзи та урожайність були на варіантах досліджу з підвищеною нормою азотних добрив та з використанням інгібітора нітрифікації та без нього по всім рокам досліджень 2018-2021. Так, НДВІ по роках досліджень 2018-2021 та в середньому за три місяці коливався в межах 0,55-0,66 на варіанті Фон+ $N_{120}$ +ІН, 0,55-0,67 на варіанті Фон+ $N_{130}$ +ІН та 0,55-0,69 на варіанті Фон+ $N_{130}$ . Урожайність кукурудзи в середньому за 4 роки досліджень 2018-2021 також була на найвищому рівні на даних варіантах та становила 97,5 ц/га на варіанті Фон+ $N_{120}$ +ІН, 95,2 ц/га на варіанті Фон+ $N_{130}$ +ІН та 89,7 ц/га на варіанті Фон+ $N_{130}$ . Коефіцієнт кореляції НДВІ з урожайністю кукурудзи був позитивним але на низькому рівні лише в червні по всіх варіантах досліджу та всіх роках досліджень та коливався в межах 0,42-0,55.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Chen Z., et al. Monitoring and management of agriculture with remote sensing. In: Liang, S. (Ed.), *Advances in Remote Sensing*. Springer Science + Business Media B.V., 2008. P.397–421.
- Jiang Z., Huete A.R. Global intercomparison of three NDVI datasets for 1981–2001. *Remote Sensing of Environment*, 2006. V.101 (2). P.366-379.
- Boogaard H.L., et al. Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS).METAMP-1/3. *Alterra and VITO, Wageningen and Mol*. 2002.
- Pettorelli N., et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005. Vol. 20 (9). P.503-510.
- Satira O., Berberoglu S. Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. *Field Crops Research*. 2016. V.192. P. 134–143.
- Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Величко, В.А. Космічний моніторинг посушливих явищ. *Вісник аграрної науки*. 2012. Вип.№ 10. с. 16-20.
- Ozesmi S.L., Bauer M.E. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetl. Ecol. Manag.* 2002. No.10 (5). P.381–402. <https://doi.org/10.1023/a:1020908432489>.
- Ghosh S., Mishra D.R., Gitelson A.A. Long-term monitoring of biophysical characteristics of tidal wetlands in the northern Gulf of Mexico – a methodological approach using MODIS. *Rem. Sens. Environ.* 2016. No.173, P.39–58. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.015>.
- Zhanga J., et al. Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019. V.165. P. 6-11.
- Nilsson H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annual Review Phytopathology*. 1995. V.33. P. 489–528.
- Kouadio L., et al. Assessing the performance of MODIS NDVI and EVI for seasonal crop yield forecasting atecodistrict scale. *Remote Sens.* 2014. V.6. P.10193–10214.
- Hatfield J.L., Gitelson A.A., Schepers J.S., Walthall C.L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, 2008. V.100 (1). P.121-127.
- Myneni R.B., Hall F.G., Sellers P.J., Marshak A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995. V.33 (2). P.481-486.
- Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Rem. Sens. Environ.* 1979. No.8 (2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).
- Huang J., Chen D, Cosh M.H. Sub-pixel reflectance unmixing in estimating vegetation water content and dry biomass of corn and soybeans cropland using normalized difference water index (NDWI) from satellites. *Int. J. Remote Sens.* 2009. V. 30 (8). P. 2075–2104.
- Zhang W., Wang X., Zhang Y. Effect of nitrogen application rate on yield and nitrogen use efficiency of maize in Northeast China. *Frontiers in Plant Science*. 2016. V.7. P.1-12.
- Панченко Л.С., Букін Є.В., Комарова Л.А. Желтоножський В. А. Еколого-економічний аналіз використання азотних добрив у виробництві кукурудзи в Україні. *Аграрний вісник Дніпропетровської області*. 2018. Т.1. № 64. С. 67-72.
- Ma B. L., Dwyer L. M. Nitrogen management for improving corn yield and nitrogen use efficiency in cool, humid regions. *Agronomy Journal*. 2015. V.107 (2). P.779-788.
- Fernández M. C, Rubio G. Root morphological traits related to phosphorus-uptake efficiency of soybean, sunflower, and maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2015. V.178. P. 807–815.
- 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.
- Vitousek P. M., et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications*. 1997. V.7 (3). P. 737-750.
- Xu G., Fan X., Miller A. J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. 2012. Vol. 63. P. 153–182.
- Subbarao G. V., et al. Sustainable agriculture through soil microbiology: A perspective. *Biological Agriculture & Horticulture*. 2015. V. 31(2). P. 69-82.
- Cameron K. C., Di H. J., Moir J. L., Stirling C. M. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology*. 2013. V.162 (2). P. 145-173.
- Kumar K., et al. Nitrification inhibitors from the soil environment and their potential use for enhancing crop

- production. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2017. V.101 (1). P.13-25.
26. Abalos D., et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014. No.189, P.136–144. doi:10.1016/j.agee.2014.03.036
  27. Chunlian Q., et al. How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. *Global Change Biology*. 2015. No.21 (1249–1257), 3–5. doi: 10.1111/gcb.12802
  28. Zerulla, W., 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.
  29. 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.
- REFERENCES:**
1. Chen Z., et al. Monitoring and management of agriculture with remote sensing. In: Liang, S. (Ed.), *Advances in Remote Sensing*. Springer Science + Business Media B.V., 2008. P.397–421.
  2. Jiang Z., Huete A.R. Global intercomparison of three NDVI datasets for 1981–2001. *Remote Sensing of Environment*, 2006. V.101 (2). P.366-379.
  3. Boogaard H.L., et al. Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS).METAMP-1/3. *Alterra and VITO, Wageningen and Mol*. 2002.
  4. Pettorelli N., et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005. Vol. 20 (9). P.503-510.
  5. Satira O., Berberoglu S. Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. *Field Crops Research*. 2016. V.192. P. 134–143.
  6. Tarariko O.H., Syrotenko O.V., Iliencko T.V. Velychko V.A. Kosmichniy monitorynh posushlyvykh yavlyshch. *Bulletin of Agrarian Science*. 2012. No. 10, P. 16-20.
  7. Ozesmi S.L., Bauer M.E. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetl. Ecol. Manag.* 2002. No.10 (5). P.381–402. https://doi.org/10.1023/a:1020908432489.
  8. Ghosh S., Mishra D.R., Gitelson A.A. Long-term monitoring of biophysical characteristics of tidal wetlands in the northern Gulf of Mexico – a methodological approach using MODIS. *Rem. Sens. Environ.* 2016. No.173, P.39–58. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.015.
  9. Zhanga J., et al. Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019. V.165. P. 6-11.
  10. Nilsson H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Annual Review Phytopathology*. 1995. V.33. P. 489–528.
  11. Kouadio L., et al. Assessing the performance of MODIS NDVI and EVI for seasonal crop yield forecasting atecodistrict scale. *Remote Sens*. 2014. V.6. P.10193–10214.
  12. Hatfield J.L., Gitelson A.A., Schepers J.S., Walthall C.L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, 2008. V.100 (1). P.121-127.
  13. Myneni R.B., Hall F.G., Sellers P.J., Marshak A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995. V.33 (2). P.481-486.
  14. Tucker C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Rem. Sens. Environ.* 1979. No.8 (2), 127–150. https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0.
  15. Huang J., Chen D, Cosh M.H. Sub-pixel reflectance unmixing in estimating vegetation water content and dry biomass of corn and soybeans cropland using normalized difference water index (NDWI) from satellites. *Int. J. Remote Sens*. 2009. V. 30 (8). P. 2075–2104.
  16. Zhang W., Wang X., Zhang Y. Effect of nitrogen application rate on yield and nitrogen use efficiency of maize in Northeast China. *Frontiers in Plant Science*. 2016. V.7. P.1-12.
  17. Panchenko L.S., Bukin E.V., Komarova L.A., Zheltonozhskiy V.A. Ekologo-ekonomicheskyy analiz ispolzovaniya azotnykh udobreniy v proizvodstve kukuрузy v Ukraine. *Agrarian Bulletin of the Dnepropetrovsk region*. 2018. Vol. 1. No. 64. 67-72.
  18. Ma B. L., Dwyer L. M. Nitrogen management for improving corn yield and nitrogen use efficiency in cool, humid regions. *Agronomy Journal*. 2015. V.107 (2). P.779-788.
  19. Fernández M. C, Rubio G. Root morphological traits related to phosphorus-uptake efficiency of soybean, sunflower, and maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2015. V.178. P. 807–815.
  20. 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.
  21. Vitousek P. M., et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications*. 1997. V.7 (3). P. 737-750.
  22. Xu G., Fan X., Miller A.J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*. 2012. Vol. 63. P. 153–182.
  23. Subbarao G. V., et al. Sustainable agriculture through soil microbiology: A perspective. *Biological Agriculture & Horticulture*. 2015. V. 31(2). P. 69-82.
  24. Cameron K. C., Di H. J., Moir J. L., Stirling C. M. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Annals of Applied Biology*. 2013. V.162 (2). P. 145-173.
  25. Kumar K., et al. Nitrification inhibitors from the soil environment and their potential use for enhancing crop production. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2017. V.101 (1). P.13-25.
  26. Abalos D., et al. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2014. No.189, P.136–144. doi:10.1016/j.agee.2014.03.036
  27. Chunlian Q., et al. How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. *Global Change Biology*. 2015. No.21 (1249–1257), 3–5. doi: 10.1111/gcb.12802
  28. Zerulla, W., 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.
  29. 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.

Мунтян С.В., Шатковський А.П., Федорчук М.І., Сайдак Р.В. Нормалізований диференційний вегетативний індекс кукурудзи залежно від норм азотних добрив та інгібітора нітрифікації

**Метою** було встановити взаємозв'язок та фактичну кореляцію між рівнем нормалізованого диференційного вегетативного індексу та урожайністю кукурудзи при умові використання різних норм азотних добрив у вигляді КАС-32 за поєданого використання інгібітора нітрифікації.

**Методи.** Впродовж 2018–2021 рр. проводили дослідження в умовах науково-дослідного пункту СТОВ «Дружба Нова» Варвинського р-ну Чернігівської обл. (відділення агрохолдингу Кернел) на чорноземі типовому малогумусному. Однофакторний дослід. Контрольний варіант  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (умовно без азотних добрив). КАС-32 нормою згідно з варіантами досліджу, інгібітор нітрифікації 3,4-диметилпіразолфосфат вносили навесні, відповідно варіанти досліджу Фон+ $N_{120}$ +ІН, Фон+ $N_{130}$ +ІН, Фон+ $N_{130}$ . Нормалізований диференційний вегетативний індекс (НДВІ) визначався в результаті знімків з супутників WorldView-2, WorldView-3, Geoeye-1 (Maxar USA).

**Результати.** НДВІ кукурудзи по всіх роках досліджень 2018-2021 був на найвищому рівні в червні і знижувався в липні та також знижувався в серпні. Так рівень НДВІ в червні був на рівні 0,73-0,80 в 2018 році, 0,65-0,67 в 2019 році, 0,72-0,78 в 2020 році та 0,65-0,72 в 2021 році. В липні НДВІ був нижчим ніж у червні, так в липні він був в межах 0,62-0,69 в 2018 році, 0,62-0,66 в 2019 році, 0,62-0,67 в 2020 році та 0,52-0,54 в 2021 році. В серпні НДВІ був відповідно нижчим ніж у липні та коливався в межах 0,49-0,57 в 2018 році, 0,48-0,53 в 2019 році, 0,54-0,60 в 2020 році та 0,39-0,40 в 2021 році. Найвищий рівень НДВІ спостерігався на варіанті із збільшеною нормою азоту Фон+ $N_{130}$  але без додавання ІН. Так рівень НДВІ становив в червні, липні та серпні та в середньому за три місяці в 2019 році як 0,65; 0,66; 0,53 та 0,61, в 2020 році 0,78; 0,66; 0,60 та 0,68, та в 2021 році 0,71; 0,53; 0,40 та 0,55 відповідно.

Урожайність при тій самій нормі азотних добрив  $N_{130}$  але без використання ІН на варіанті Фон+ $N_{130}$  була вищою від контрольного варіанту  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (фон) по всім 4 рокам досліджень але нижчою від варіанту з тією ж самою нормою азотних добрив та використанням ІН, варіант Фон+ $N_{130}$ +ІН та також нижчою від варіанту з зниженою нормою азотних добрив та з використанням ІН (Фон+ $N_{120}$ +ІН). Так на варіанті Фон+ $N_{130}$  урожайність кукурудзи становила 99,7 ц/га в 2018 році, 77,5 ц/га в 2019 році, 83,8 ц/га в 2020 році та 97,7 ц/га в 2021 році що в середньому за 4 роки досліджень складала 89,7 ц/га.

Коефіцієнт кореляції був позитивним лише в червні по всіх варіантах досліджу та коливався в межах 0,42-0,55. Коефіцієнт кореляції мав негативне значення в липні та серпні по всім варіантам досліджу та коливався в межах від -0,25 до -0,67.

**Висновки.** Встановлено, що найвищий рівень НДВІ кукурудзи та урожайність були на варіантах досліджу з підвищеною нормою азотних добрив та з використанням інгібітора нітрифікації та без нього по всім рокам досліджень 2018-2021. Так, НДВІ по роках досліджень 2018-2021 та в середньому за три місяці коливався в межах 0,55-0,66 на варіанті Фон+ $N_{120}$ +ІН, 0,55-0,67 на варіанті Фон+ $N_{130}$ +ІН та 0,55-0,69 на варіанті Фон+ $N_{130}$ . Урожайність кукурудзи в середньому за 4 роки досліджень

2018-2021 також була на найвищому рівні на даних варіантах та становила 97,5 ц/га на варіанті Фон+ $N_{120}$ +ІН, 95,2 ц/га на варіанті Фон+ $N_{130}$ +ІН та 89,7 ц/га на варіанті Фон+ $N_{130}$ . Коефіцієнт кореляції НДВІ з урожайністю кукурудзи був позитивним але на низькому рівні лише в червні по всіх варіантах досліджу та всіх роках досліджень та коливався в межах 0,42-0,55.

**Ключові слова:** інгібітор нітрифікації, 3,4-диметилпіразолфосфат, карбамідно-аміачна суміш, нормалізований диференційний вегетативний індекс, урожайність, кукурудза

**Muntyan S.V., Shatkovskiy A.P., Fedorchuk M.I., Saidak R.V. Normalized differential vegetative index of maize depending on the norms of nitrogen fertilizers and nitrification inhibitor**

**Purpose.** To establish the relationship and the actual correlation between the level of normalized differential vegetative index and maize yield under the condition of using different norms of nitrogen fertilizers in the form of UAN-32 with the combined use of nitrification inhibitor.

**Methods.** During 2018-2021, the research was conducted in the conditions of the research station of "Druzhba Nova" LLC, Varvynskiy district, Chernihiv region (a branch of the Kernel agricultural holding) on typical low-humus black soil. One-factor experiment. Control variant  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (conditionally without nitrogen fertilizers). UAN-32 was applied at the normal rate according to the experimental variants, and the nitrification inhibitor 3,4 dimethylpyrazol phosphate was applied in spring, respectively, in the experimental variants Control +  $N_{120}$ +IN, Control +  $N_{130}$ +IN, Control +  $N_{130}$ . Normalized differential vegetation index (NDVI) was determined by the images from WorldView-2, WorldView-3, Geoeye-1 satellites (Maxar USA).

**Results.** The NDVI of maize for all years of research 2018-2021 was at its highest level in June and decreased in July and also decreased in August. Thus, the level of NDVI in June was at the level of 0.73-0.80 in 2018, 0.65-0.67 in 2019, 0.72-0.78 in 2020 and 0.65-0.72 in 2021. In July, the NDVI was lower than in June, with the range of 0.62-0.69 in 2018, 0.62-0.66 in 2019, 0.62-0.67 in 2020, and 0.52-0.54 in 2021. In August, the NDVI was correspondingly lower than in July and ranged from 0.49-0.57 in 2018, 0.48-0.53 in 2019, 0.54-0.60 in 2020, and 0.39-0.40 in 2021. The highest level of NDVI was observed in the variant with an increased nitrogen rate, Control+ $N_{130}$  but without the addition of IN. Thus, the level of NDVI was 0.65, 0.66, 0.53 and 0.61 in June, July and August and on average for three months in 2019, 0.78, 0.66, 0.60 and 0.68 in 2020, and 0.71, 0.53, 0.40 and 0.55 in 2021, respectively.

The yield of the same nitrogen fertilizer rate of  $N_{130}$  but without the use of IN on the variant Control+  $N_{130}$  was higher than the control variant  $N_{10}P_{30}K_{40}$  (Control) in all 4 years of research, but lower than the variant with the same nitrogen fertilizer rate and the use of IN, variant Control +  $N_{130}$ +IN, and also lower than the variant with a reduced nitrogen fertilizer rate and the use of IN (Control +  $N_{120}$ +IN). Thus, in the variant Control +  $N_{130}$ , the maize yield was 99.7 centner/ha in 2018, 77.5 centner/ha in 2019, 83.8 centner/ha in 2020 and 97.7 centner/ha in 2021, which averaged 89.7 centner/ha over the 4 years of research.

The correlation coefficient was positive only in June for all experimental variants and ranged from 0.42 to 0.55. The correlation coefficient had a negative value in July and August for all experimental variants and ranged from -0.25 to -0.67.

**Conclusions.** It was found that the highest level of maize NDVI and yield were in the experimental variants with an increased rate of nitrogen fertilizers and with and without the use of a nitrification inhibitor for all years of research in 2018-2021. Thus, the NDVI for the years of research 2018-2021 and on average for three months ranged from 0.55-0.66 in the variant Control + N<sub>120</sub>+IN, 0.55-0.67 in the variant Control + N<sub>130</sub>+IN and 0.55-0.69 in the variant Control + N<sub>130</sub>. The yield of maize on average for 4 years of research in 2018-2021 was also at the highest

level in these variants and amounted to 97.5 centner/ha in the variant Control + N<sub>120</sub>+IN, 95.2 centner/ha in the variant Control + N<sub>130</sub>+IN and 89.7 centner/ha in the variant Control + N<sub>130</sub>. The correlation coefficient of NDVI with maize yield was positive but at a low level only in June for all experimental variants and all years of research and ranged from 0.42 to 0.55.

**Key words:** nitrification inhibitor, 3,4-dimethylpyrazole phosphate, urea-ammonia solution, normalized difference vegetation index, maize