

DOI: 10.32636/01308521.2024-(76)-2-11

Оригінальна наукова стаття

УДК 631.8:633.1

ІННОВАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ АЗОТНИХ ДОБРИВ В АГРОЦЕНОЗАХ**А. М. Шувар¹, І. І.Сеник¹, С. С. Мазур², В. Я. Брич¹, Л. Л. Беген³, О. В. Борисяк¹**¹Західноукраїнський національний університет

вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009

²Уманський національний університет садівництва

вул. Інститутська, 1, м. Умань, 20300

³Інститут сільськогосподарства

Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,

Львівський р-н, Львівська обл., 81115

Про авторів:

Антін ШУВАР,

доктор сільськогосподарських наук

ORCID: 0000-0002-6016-0896

Іван СЕНИК,

доктор сільськогосподарських наук

ORCID: 0000-0003-4756-7824

Сергій МАЗУР,

аспірант

ORCID: 0009-0001-9419-1703

Василь БРИЧ,

доктор економічних наук

ORCID: 0000-0002-4277-5213

Любов БЕГЕН,

науковий співробітник

ORCID: 0000-0002-1271-1841

Олена БОРИСЯК,

кандидат економічних наук

ORCID: 0000-0003-4818-8068

Для листування:

Антін ШУВАР

e-mail: antin@ukr.net

Інформація про фінансування:

Міністерство освіти і науки України

Отримано:

1 листопада 2024 р.

Погоджено до друку:

12 грудня 2024 р.

Наведено матеріали стосовно інноваційної технології застосування азотних добрив при вирощуванні озимих зернових культур, які є найбільш дієвим способом підвищення їх урожайності. Диференційоване внесення мінерального нітрогену відповідно до вегетаційного індексу NDVI та обсягів поглинання даного елемента живлення, дозволить агроценозам сільськогосподарських культур ефективніше використати поживні речовини, сприятиме підвищенню урожайності, зменшенню антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище, покращить екологічність вирощеної продукції. В середньому за роки проведення досліджень (2023–2024), на контролі при рівномірному розподілі азотних добрив урожайність зерна пшениці озимої становила 8,67 т/га, а при диференційованому внесенні азотних добрив за допомогою приладу Yara N-Sensor – 9,32 т/га. Приріст урожаю становив 0,65 т/га або 6,5 %.

Станом на жовтень 2024 р. закупівельна ціна зерна пшениці становила 206 \$/т, враховуючи приріст урожаю 0,65 т/га, додаткові грошові надходження з одиниці посіву становили 133,9 \$. Для окупності приладу Yara N-Sensor, вартість якого становить 40000 \$, потрібно щоб господарство його використовувало на площі 299 га в рік.

Ключові слова: індекс NDVI, удобрення, агроценоз, озимі культури.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Шувар А. М., Сеник І. І., Мазур С. С., Брич В. Я., Беген Л. Л., Борисяк О. В., 2024

Innovations in the application of nitrogen fertilizers in agroecosystems

¹Western Ukrainian National University

*Lvivska street, 11,
Ternopil city, 46009*

²Uman National University of Horticulture

Instytutska street, 1, Uman city, 20300

³Institute of Agriculture of the Carpathian Region of the NAAS
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne village, Lviv district, Lviv region, 81115

About authors:

Antin SHUVAR

ORCID: 0000-0002-6016-0896

Ivan SENYK

ORCID: 0000-0003-4756-7824

Serhii MAZUR

ORCID: 0009-0001-9419-1703

Vasyl BRYCH

ORCID: 0000-0002-4277-5213

Lubov BEGEN

ORCID: 0000-0002-1271-1841

Olena BORYSIAK

ORCID: 0000-0003-4818-8068

For corresponding:

Antin SHUVAR

e-mail: antin@ukr.net

Funding information:

Ministry of Education and Science of Ukraine

Received:

November 1, 2024

Accepted:

December 12, 2024

The article presents materials on the innovative technology of nitrogen fertilizers application in the cultivation of winter grain crops, which is the most effective way to increase the yield. Differentiated application of mineral nitrogen in accordance with the vegetation index NDVI and the amount of absorption of this nutrient will allow crop agroecosystems to use nutrients more efficiently, increase yields, reduce the anthropogenic load on the environment, and improve the environmental friendliness of the grown products. On average, over the years of research (2023–2024), the control with a uniform distribution of nitrogen fertilizers yielded 8.67 t/ha of winter wheat, and with differentiated nitrogen fertilization application using the Yara N-Sensor device – 9.32 t/ha. The yield increase was 0.65 t/ha or 6.5 %.

As of October 2024, the purchase price of wheat grain was \$ 206 per ton, and given the yield increase of 0.65 t/ha, the additional cash flow per unit of sowing was \$ 133.9. To pay off the Yara N-Sensor device, which costs \$ 40,000, the farm needs to use it on an area of 299 hectares per year.

Keywords: NDVI index, fertilizers, agroecosystem, winter crops.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Однією із ключових проблем кінця XX початку XXI століття є глобальна продовольча криза, з якою стикнулося людство і яка полягає у недостатній забезпеченості населення нашої продуктами харчування [12, 13].

Як зазначають фахівці Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН

(ФАО), на сьогодні понад 935 млн або 9,2 % населення Землі відчувають дефіцит їжі, а 25000 людей щоденно помирають від голоду [11, 21].

Нестача харчових продуктів пов'язана в основному зі стрімким зростанням чисельності населення загальнопланетарного масштабу, яке

станом на 2024 р. складає більше 8 млрд осіб [16, 24].

Єдиним і незамінним шляхом розв'язання питання продовольчої безпеки планетарного масштабу є підвищення урожайності сільськогосподарських культур, які забезпечують населення харчовими продуктами [3, 8, 14, 16]. Серед них ключова роль належить зерновим культурам – пшениці, кукурудзі, рису, ячменю, житу, вівсу [2, 7, 20].

Вирішальним фактором зростання урожайності сільськогосподарських культур в Україні та світі є внесення добрив, зокрема мінеральних. Першочергове значення при цьому належить азоту. Сучасні технології вирощування зернових культур передбачають внесення нітрогену в декілька етапів задля створення оптимальних умов для росту, розвитку та максимальної реалізації генетичного потенціалу сучасних сортів та гібридів зернових культур [1, 14, 18, 20].

Проте, виробництво і застосування мінеральних добрив, особливо азотних, становить серйозну небезпеку для навколишнього середовища [4, 5].

Одним зі шляхів розв'язання цієї проблеми є диференційоване внесення азотних добрив на основі даних про коефіцієнт NDVI, який можна отримати за результатами супутникового моніторингу стану посівів [10, 17, 19, 23] або в режимі реального часу з використанням приладу Yara N-Sensor [15].

У аграрному виробництві показник NDVI широко використовується для визначення стану посівів сільськогосподарських культур, зокрема і для оцінки забезпечення рослин поживними речовинами, перш за все азотом, оскільки азот відповідає за інтенсивність зеленого забарвлення рослин [9].

Приладу Yara N-Sensor вимірює коефіцієнт відбиття світла у певних діапазонах хвиль, пов'язаних із вмістом хлорофілу в культурі та біомасі. Він обчислює фактичні N-поглинання врожаю.

Весь процес визначення потреби культури в азоті та внесення необхідної кількості азотних добрив на ту чи іншу частину поля відбувається миттєво, завдяки чому рослини забезпечуються даним елементом живлення в необхідній кількості [22].

Це сприяє максимальному розкриттю генетичного потенціалу сучасних сортів та гібридів зернових культур та дозволяє зменшити забруднення навколишнього середовища [2, 15].

Матеріали і методи. Основним методом досліджень був виробничий польовий дослід, в якому на прикладі озимої пшениці вивчалось диференційоване внесення азотних добрив, що може бути використане також і для жита, ячменю та інших зернових культур.

Дослідження проводилися і з сортом РЖТ Реформ в умовах Тернопільської області. Азотні добрива вносили у формі аміачної селітри у фазі кінець кушення-початок виходу в трубку (BBCH 30-31). Запланована норма внесення мінерального добрива 135 кг/га.

Площа облікової ділянки у виробничому досліді 10 га, повторність в досліді триразова.

Попередником для озимої пшениці в роки досліджень був соняшник. Після його збирання проводилося дискування рослинних решток та глибоке розпушення ґрунту на глибину 18–20 см. Сівба пшениці проводилася посівним комплексом Pöttinger TerrasemV 6000Z CLASSIC. Норма висіву насіння 4,5 млн/га схожих насінин. При посіві вносилося комплексне добриво Yara Mila 8-24-24 в нормі 150 кг/га.

Результати та обговорення. Норма внесення мінерального азоту для проведення підживлення в нашому досліді визначалася на основі показників приладу Yara N-Tester (рис. 1).

Пристрій вимірює вміст хлорофілу в рослині й таким чином показує кількість азоту, яка міститься в рослині та розраховує потребу в мінеральному нітрогені для отримання запланованої урожайності.



Рис. 1. Визначення потреби в мінеральному азоті за допомогою приладу Yara N-Tester для проведення підживлення озимої пшениці

Встановлено, що для отримання планової урожайності пшениці озимої, у фазі кінець кушення-початок виходу в трубку (ВВСН 30-31) потрібно внести 135 кг/га аміачної селітри або 46 кг/га д.р. азоту.

Зазначена кількість добрив по різному розподіляється по полю на варіантах досліду. Так, на контрольному варіанті внесення аміачної селітри здійснюється шляхом рівномірного його розподілу по полю.

Нашими дослідженнями встановлено, що попри відсутність видимої візуальної різниці в рості й розвитку рослин пшениці озимої, приладом Yara N-Sensor виявлено відмінності у споживанні азоту посівами озимої пшениці. Технологічно, розв'язання даного питання здійснюється шляхом навішування на трактор спеціального приладу Yara N-Sensor або за допомогою програми Yara At-farm, яка також має функцію N-Sensor (рис. 2).

За допомогою зазначеного обладнання, відбувається сканування посіву озимих та ярих зернових культур та визначаються зони неоднорідності поля із більшою чи меншою кількістю біомаси та відповідною кількістю поглинутого нітрогену.

Це дозволяє агроному оцінити реальний стан посіву вирощуваної культури та виявити проблемні місця на полі, а уже на основі даного сканування та запланованої норми внесення мінерального нітрогену прилад управляє розкидачем чи обприскувачем (у випадку застосування КАСу) змінюючи кількість внесених азотних добрив відповідно до стану посіву.

На основі просканованого приладом Yara N-Sensor агрофітоценозу пшениці озимої виявлено значні відмінності у рості й розвитку рослин, внаслідок чого на одному і тому ж полі зафіксовано зони неоднорідності. Обсяги поглинання азоту відповідно до карти поля знаходяться в межах від 37,5 до 67,5 кг/га (рис. 2).

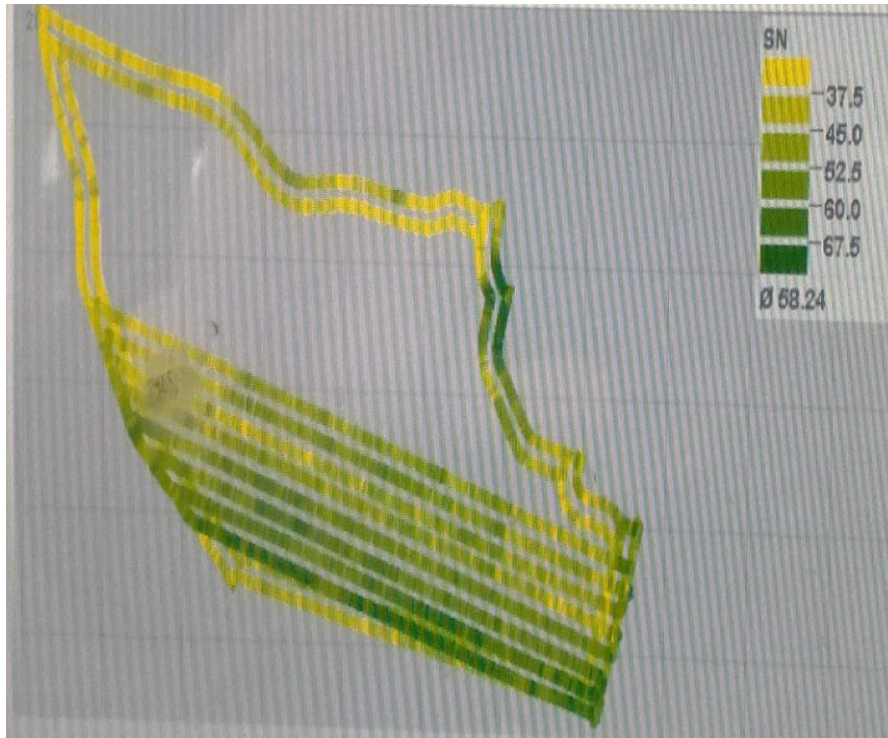


Рис. 2. Карта споживання азоту посівами озимої пшениці визначена за допомогою приладу Yara N-Sensor

Здебільшого диференційоване внесення добрив відбувається за принципом: «менша біомаса і менше поглинання азоту – більша кількість внесених азотних добрив, більша біомаса і більше поглинання рослинами нітрогену –

менша кількість внесених азотних добрив». Перед внесенням добрив розкидач було запрограмовано таким чином, що мінімальна кількість внесеної аміачної селітри становила 120 кг/га, максимальна – 150 кг/га (рис. 3).

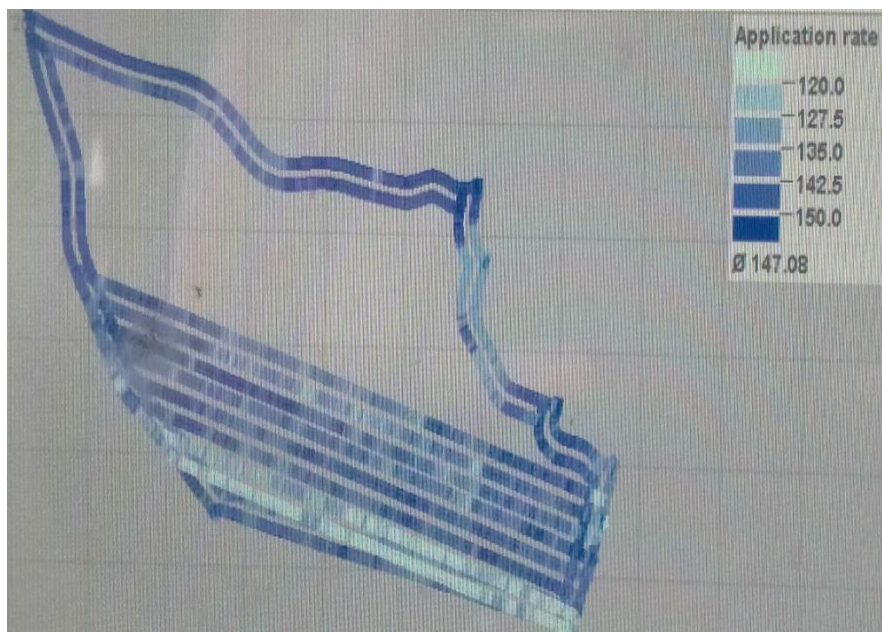


Рис. 3. Карта внесення аміачної селітри зі змінною нормою при підживленні озимої пшениці

Збирання урожаю пшениці озимої в польовому досліді засвідчило доцільність

диференційованого внесення мінерального нітрогену на її посівах (табл. 1).

1. Урожайність пшениці озимої залежно від способу розподілу мінерального азоту, т/га

Варіант досліду	Роки			Приріст до контролю			Окупність приладу, га (ціна Yara N-Sensor становить 40000\$)
	2023	2024	Середнє за 2023–2024 рр.	т/га	%	\$/га	
Контроль (традиційне рівномірне внесення азотних добрив)	7,82	9,51	8,67	–	–	–	–
Диференційоване внесення азотних добрив за допомогою приладу Yara N-Sensor	8,33	10,3	9,32	0,65	106,5	133,9	298,7
НІР ₀₅ , т/га	0,25	0,31					

Так, у 2023 р., який за комплексом метеорологічних факторів був мало сприятливим для росту, розвитку та формування урожайності досліджуваної культури, збір зерна з одного гектара становив 7,82 т/га на контролі та 8,33 т/га на дослідному варіанті із диференційованим внесенням азотних добрив за допомогою приладу Yara N-Sensor. Приріст урожаю становить 0,51 т/га, що є статистично вірогідним показником.

Сприятливі погодні умови 2024 р. забезпечили вищу урожайність пшениці на всіх варіантах досліді. На контролі вона становила 9,51 т/га, а на дослідному варіанті – 10,3 т/га. Приріст урожаю становив 0,79 т/га, що є статистично вірогідним показником, оскільки значення НІР становить 0,31 т/га.

В середньому за роки проведення досліджень (2023–2024), на контролі при рівномірному розподілі азотних добрив урожайність зерна пшениці озимої становила 8,67 т/га, а при диференційованому внесенні азотних добрив за допомогою приладу Yara N-Sensor – 9,32 т/га. Приріст урожаю становить 0,65 т/га або 6,5 %.

Станом на жовтень 2024 р. закупівельна ціна зерна пшениці становить 206 \$/т, враховуючи приріст урожаю 0,65 т/га, додаткові грошові надходження з одиниці посіву становлять 133,9 \$. Для окупності приладу Yara N-Sensor, вартість якого становить 40000 \$, потрібно щоб господарство його використовувало на площі 299 га в рік.

2. Якісні показники зерна пшениці озимої залежно від способу розподілу мінерального азоту, т (середнє за 2023–2024 рр.)

Варіант досліду	Показники якості зерна		
	вміст білка в перерахунку на суху речовину, %	вміст клейковини в перерахунку на суху речовину, %	клас якості
Контроль (традиційне рівномірне внесення азотних добрив)	10,8	18,1	4
Диференційоване внесення азотних добрив за допомогою приладу Yara N-Sensor	11,3	19,5	3

Нашими дослідженнями встановлено, що використання диференційованого внесення азотних добрив при підживленні озимої пшениці, крім підвищення урожайності позитивно позначилося на якісних показниках вирощеного урожаю (табл. 2).

Так, в середньому за 2023–2024 рр. на контрольному варіанті досліді отримано урожай зерна пшениці четвертого (фуражного) класу, а на дослідному варіанті із диференційованим внесенням

азоту за допомогою приладу Yara N-Sensor – третього (продовольчого).

Висновки. Завдяки такому розподілу азотних добрив зменшуються ризики накопичення нітратів у вирощеній продукції та потрапляння діючої речовини у ґрунтові води на відкриті водойми, відбувається вирівнювання стану посіву сільськогосподарських культур, підвищується їх урожайність та якість вирощеної продукції.

Список використаної літератури

1. Рудавська Н., Шувар А., Беген Л. Особливості формування елементів структури сумішок зернових і зернобобових культур. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2021. Вип. 69 (2). С. 108-122. DOI: 10.32636/01308521.2021-(69)-2-7.
2. Baffes J., Koh W. C. Fertilizer Prices Expected to Stay High Over the Remainder of 2021. *World Bank Blogs*. 2021. URL: <https://blogs.worldbank.org/opendata/fertilizer-prices-expected-stay-high-over-remainder-2021> (last accessed: 25.09.2024).
3. Enhancing Essential Grains Yield for Sustainable Food Security and Bio-Safe Agriculture through Latest Innovative Approaches / G. Albahri et al. *Agronomy*. 2023, 13 (7), 1709. DOI: 10.3390/agronomy13071709.
4. Estimation of Nitrogen Content in Winter Wheat Based on Multi-Source Data Fusion and Machine Learning / Fan Ding et al. *Agriculture*. 12. (2022). 1752. DOI: 10.3390/agriculture12111752.
5. European Commission. Nitrogen pollution and the European environment: implications for air quality policy. 2013. URL: ec.europa.eu/environment/integration/research/newsaler/t/pdf/IR6_en.pdf (last accessed: 25.09.2024).
6. Evaluating nitrogen fertilization strategies to optimize yield and grain nitrogen content in top winter wheat varieties across Switzerland / A. Burton et al. *Field Crops Research*. Vol. 307. 2024. 109251. DOI: 10.1016/j.fcr.2024.109251.
7. FAO. 2022. FAOSTAT. URL: fao.org/faostat/en/#home (last accessed: 25.09.2024).
8. Formation of productivity of binary and single-species cenosis in the conditions of the western forest-steppe / N. M. Rudavska et al. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 72 (2). С. 47–63.
9. Genin V. The NDVI index: how it makes the agronomist's life easier. 2021. URL: <https://www.agronom.com.ua/indeks-ndvi-yak-vin-robyt-zhyttya-agronoma-prostishym> (last accessed: 25.09.2024).

References

1. Rudavska N., Shuvar A., Behen L. Peculiarities of the formation of elements of the structure of mixtures of grain and leguminous crops. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2021. Vol. 69 (2). P. 108-122. DOI: 10.32636/01308521.2021-(69)-2-7.
2. Baffes J., Koh W. C. Fertilizer Prices Expected to Stay High Over the Remainder of 2021. *World Bank Blogs*. 2021. URL: <https://blogs.worldbank.org/opendata/fertilizer-prices-expected-stay-high-over-remainder-2021> (last accessed: 25.09.2024).
3. Enhancing Essential Grains Yield for Sustainable Food Security and Bio-Safe Agriculture through Latest Innovative Approaches / G. Albahri et al. *Agronomy*. 2023, 13 (7), 1709. DOI: 10.3390/agronomy13071709.
4. Estimation of Nitrogen Content in Winter Wheat Based on Multi-Source Data Fusion and Machine Learning / Fan Ding et al. *Agriculture*. 12. (2022). 1752. DOI: 10.3390/agriculture12111752.
5. European Commission. Nitrogen pollution and the European environment: implications for air quality policy. 2013. URL: ec.europa.eu/environment/integration/research/newsaler/t/pdf/IR6_en.pdf (last accessed: 25.09.2024).
6. Evaluating nitrogen fertilization strategies to optimize yield and grain nitrogen content in top winter wheat varieties across Switzerland / A. Burton et al. *Field Crops Research*. Vol. 307. 2024. 109251. DOI: 10.1016/j.fcr.2024.109251.
7. FAO. 2022. FAOSTAT. URL: fao.org/faostat/en/#home (last accessed: 25.09.2024).
8. Formation of productivity of binary and single-species cenosis in the conditions of the western forest-steppe / N. M. Rudavska et al. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2022. Vol. 72 (2). P. 47–63.
9. Genin V. The NDVI index: how it makes the agronomist's life easier. 2021. URL: <https://www.agronom.com.ua/indeks-ndvi-yak-vin-robyt-zhyttya-agronoma-prostishym> (last accessed: 25.09.2024).

10. Kogan F. N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Bull. Amer. Met. Soc.* 1995. Vol. 76, No. 5. P. 655-668.
11. Losing 25,000 to Hunger Every Day. United Nations. URL: un.org/en/chronicle/article/losing-25000-hunger-every-day (last accessed: 25.09.2024).
12. Maryna A. S., Yankovska Y. R. Research on the state of global food security. *Economic space*. 2023. No. 184. P. 26–30. DOI: 10.32782/2224-6282/184-4.
13. Mocherny S. V. Economic encyclopedic dictionary : In 2 volumes. 2006. Vol. 2. Lviv : Svit. 568 p.
14. Nitrogen fertilizer management for improved grain quality and yield in winter wheat in Oklahoma / Y. A. Mohammed et al. *J. Plant Nutr.* 2013. 36 (5), P. 749–761. DOI: 10.1080/01904167.2012.754039.
15. Optical Sensor-Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization / W. R. Raun et al. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2005. 36. P. 2759–2781. DOI: 10.1080/00103620500303988.
16. Poluneev Yu. V. World food crisis: global hunger or a competitive advantage for Ukraine?! 2011. URL: agrosvit.info/pdf/16_2011/2.pdf (last accessed: 25.09.2024).
17. Semenova I. G. The use of vegetation indices to monitor droughts in Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 2014. No. 14. P. 43–52.
18. Simplified N fertilization strategies for winter wheat. Part 1: plants: compensation capacity of modern wheat varieties / T. Makary et al. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2020. 66 (6). P. 847–857. DOI: 10.1080/03650340.2019.1641697.
19. Singh R. P., Roy S., Kogan F. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *Int. J. Remote Sensing*. 2003. Vol. 24. No. 22. P. 4393–4402.
20. The role of wheat in global food security / M. Acevedo et al. *Agricultural Development and Sustainable Intensification: Technology and Policy Challenges in the Face of Climate Change*. 2018. P. 81–110. DOI: 10.4324/9780203733301-4.
21. The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, Italy. 2023. 316 p. DOI: 10.4060/cc3017en.
22. The Yara N-Sensor. 2021. URL: yara.co.uk/siteassets/crop-nutrition/media/uk/uk-tools-and-services/yara-n-sensor-als-2021.pdf (last accessed: 25.09.2024).
23. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations / A. Karnieli et al. *Climate*. 2010. Vol. 23. P. 618–633.
24. World Population by Country 2024. URL: worldpopulationreview.com (last accessed: 25.09.2024).
10. Kogan F. N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Bull. Amer. Met. Soc.* 1995. Vol. 76, No. 5. P. 655-668.
11. Losing 25,000 to Hunger Every Day. United Nations. URL: un.org/en/chronicle/article/losing-25000-hunger-every-day (last accessed: 25.09.2024).
12. Maryna A. S., Yankovska Y. R. Research on the state of global food security. *Economic space*. 2023. No. 184. P. 26–30. DOI: 10.32782/2224-6282/184-4.
13. Mocherny S. V. Economic encyclopedic dictionary : In 2 volumes. 2006. Vol. 2. Lviv : Svit. 568 p.
14. Nitrogen fertilizer management for improved grain quality and yield in winter wheat in Oklahoma / Y. A. Mohammed et al. *J. Plant Nutr.* 2013. 36 (5), P. 749–761. DOI: 10.1080/01904167.2012.754039.
15. Optical Sensor-Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization / W. R. Raun et al. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2005. 36. P. 2759–2781. DOI: 10.1080/00103620500303988.
16. Poluneev Yu. V. World food crisis: global hunger or a competitive advantage for Ukraine?! 2011. URL: agrosvit.info/pdf/16_2011/2.pdf (last accessed: 25.09.2024).
17. Semenova I. G. The use of vegetation indices to monitor droughts in Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 2014. No. 14. P. 43–52.
18. Simplified N fertilization strategies for winter wheat. Part 1: plants: compensation capacity of modern wheat varieties / T. Makary et al. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2020. 66 (6). P. 847–857. DOI: 10.1080/03650340.2019.1641697.
19. Singh R. P., Roy S., Kogan F. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *Int. J. Remote Sensing*. 2003. Vol. 24. No. 22. P. 4393–4402.
20. The role of wheat in global food security / M. Acevedo et al. *Agricultural Development and Sustainable Intensification: Technology and Policy Challenges in the Face of Climate Change*. 2018. P. 81–110. DOI: 10.4324/9780203733301-4.
21. The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, Italy. 2023. 316 p. DOI: 10.4060/cc3017en.
22. The Yara N-Sensor. 2021. URL: yara.co.uk/siteassets/crop-nutrition/media/uk/uk-tools-and-services/yara-n-sensor-als-2021.pdf (last accessed: 25.09.2024).
23. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations / A. Karnieli et al. *Climate*. 2010. Vol. 23. P. 618–633.
24. World Population by Country 2024. URL: worldpopulationreview.com (last accessed: 25.09.2024).