

potential of winter wheat (*Triticum aestivum*) under cultivation technologies of different intensity in the conditions of climate change. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 16(1), e25009. <https://doi.org/10.15421/0225009>

УДК 581.54(477.7):633.19

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ПОСІВІВ БАГАТОРІЧНОЇ ЗЕРНОВОЇ КУЛЬТУРИ KERNZA В УМОВАХ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ ПІВДНЯ УКРАЇНИ ЗА СПЕКТРАЛЬНИМИ ВЕГЕТАЦІЙНИМИ ІНДЕКСАМИ

Панфілова А.В., доктор с.-г. наук, професор,
Кошкін Д.Л., канд. техн. наук, доцент
Миколаївський національний аграрний університет

Сільське господарство України є найбільш вразливою галуззю економіки до коливань та змін клімату, оскільки урожайність сільськогосподарських культур значною мірою залежить від тепло- і вологозабезпеченості території [1]. В умовах наростаючої гідротермічної нестабільності Південного Степу України вирішальну роль у створенні стійких продуктивних агроecosystem відіграє використання багаторічних злакових культур, які забезпечують низку екологічних переваг, включаючи збереження ґрунту, накопичення поживних речовин та економне витрачання вологи з ґрунту [2, 3].

Враховуючи значний вплив зміни клімату та деградації ґрунтів на продуктивність сільського господарства, перехід до багаторічної моделі виробництва зерна стає стратегічно важливим кроком. Kernza (*Thinopyrum intermedium*), як багаторічна зернова культура зі зниженою потребою в обробітку ґрунту, відповідає стратегічним потребам у зменшенні негативного екологічного впливу землеробства, проте її адаптивний потенціал в умовах Південного Степу України залишається недостатньо вивченим. Водночас більшість сучасних підходів дистанційного моніторингу розроблені для однорічних зернових і не враховують специфіку багаторічних злаків. На відміну від однорічних зернових, Kernza характеризується багаторічним циклом розвитку, специфічною фенологічною динамікою та вираженою сезонною двофазністю, що ускладнює пряме перенесення моделей, розроблених для пшениці чи ячменю ярих.

Метою дослідження є обґрунтування підходів до інтеграції спектральних вегетаційних індексів Sentinel-2 (NDVI, NDMI, NDRE) та агрометеорологічних показників для оцінки росту і розвитку рослин Kernza в період водно-теплового стресу в умовах Південного Степу України.

Об'єктом дослідження є процеси росту і розвитку рослин *Kernza* сорту Clearwater в одновидовому та сумісному з лядвенцем рогатим посівах за різних рівнів мінерального живлення. Предметом досліджень є динаміка спектральних вегетаційних індексів NDVI, NDMI та NDRE у взаємозв'язку з фазами росту і розвитку рослин *Kernza* (шкала BBCH) та гідротермічними умовами. Гіпотеза полягає в тому, що комплексне використання зазначених індексів дозволяє кількісно ідентифікувати фази водно-теплового стресу та відновлення вегетації багаторічної зернової культури *Kernza*.

Дослідження проведено упродовж 2023–2025 рр. на дослідному полі Навчально-науково-практичного центру Миколаївського національного аграрного університету на чорноземі південному залишково-слабкосолонцюватому важкосуглинковому на лесах. Сівбу *Kernza* (сорт Clearwater, Land Institute, USA) проведено 19.09.2023 р. із нормою висіву 5 млн шт./га в одновидовому та 2,5 млн шт./га в сумісному посіві з лядвенцем рогатим. Сівбу *Kernza* в чистому посіві проводили з шириною міжрядь 30 см. Ширина міжрядь сумісного посіву 30 см (60 см *Kernza* + 60 см лядвенець рогатий, висіяний у міжряддя). Досліджували два варіанти удобрення: контрольний варіант без удобрення та варіант із внесенням 90 кг/га N, 56 кг/га P, 168 кг/га K. Повна норма фосфору і калію, а також стартова доза азоту (30 кг/га N), були внесені перед сівбою. Доза азоту (60 кг/га N) внесена в фазу активного весняного куцання *Kernza* при всіх способах сівби.

Джерелом даних дистанційного зондування слугувала гармонізована колекція атмосферно скоригованих зображень Sentinel-2 Surface Reflectance у хмарному середовищі Google Earth Engine [4]. Часові ряди індексів NDVI, NDMI та NDRE агрегували у декадному форматі із згладжуванням кубічними сплайнами. Агрокліматичні показники отримано за даними метеостанції Pessl Instruments (iMETOS), встановленої безпосередньо на дослідному полі Миколаївського національного аграрного університету.

Агrometeorологічні умови досліджуваних років характеризувалися значними відхиленнями від середньобагаторічних показників. У 2024 р. температура повітря січня–травня була на 22,9% нижчою за норму, а сума опадів за цей період склала 152,3 мм (на 12,1 % менше від середньобагаторічних). Водночас у березні та квітні випало відповідно на 33,2 та 27,0 % більше опадів за норму, що сприяло формуванню запасів вологи для весняної вегетації. Літній період 2024 р. характеризувався аномальною спекою з максимальними температурами до 39–42 °C та нагріванням поверхні ґрунту до 61–70°C, що зумовило ґрунтово-повітряну посуху та зменшення кількості стебел рослин *Kernza* на 6,4–24,2 % залежно від варіанту. Агрокліматичні умови 2025 р. також були нетиповими для умов півдня України. Зимовий період характеризувався аномально теплою погодою: середня температура січня становила 2,4°C (на 2,1°C вище норми), що забезпечило сприятливі умови для перезимівлі посівів *Kernza*.

Погодно - кліматичні умови мали вирішальний вплив на ріст і розвиток рослин *Kernza* у весняний період. Слід відмітити аномальне, для півдня

України, явище весняного періоду 2025 р. – 11-12 квітня спостерігалися опади у вигляді снігу. Зниження температури повітря у квітня сприяли пригніченню росту і розвитку рослин Kernza, формування ними стеблостою. Так, залежно від варіанту досліду на 0,5 м налічувалося 152-221 стебел (ВВСН 29-31). Погодні умови в травні були зумовлені переважно циклонічною діяльністю. Оцінка розвитку посівів у фазі видовження стебла рослин Kernza (ВВСН 50-58), проведена 27 травня 2025 року, показала, що впродовж 43 діб після попереднього обліку рослини отримали 370,0 °С позитивних температур та 76,7 °С ефективних температур при незначній кількості опадів 62,6 мм. Рослини Kernza утворили на 0,5 м 182-223 стебла на варіантах без удобрення та 215-247 стебел за внесення мінеральних добрив. Погода в червні була нестійкою з коливаннями температури та незначними опадами в окремі дні. 16 червня 2025 р. у переважної більшості рослин Kernza було відмічено фазу цвітіння (ВВСН 63-67 залежно від варіанту досліду). Слід відзначити, що цвітіння рослин Kernza відбувалося не постійно, а в певну пору дня. Зранку на колосках спостерігалися поодинокі пиляки, а після обіду (15.00-16.00) колоски різко викидали пиляки, які ставали жовтого кольору. Це відбувалося декілька годин, після чого пиляки знову ставали поодинокими і втрачали колір з жовтого до коричнево-червоного. При цьому рослини Kernza сформували 167-245 стебел на 0,5 м. Липень був посушливий та аномально жаркий. Запаси продуктивної вологи (станом на 22 липня) в орному шарі повністю вичерпані, а в метровому – вкрай низькі (17 мм), що також свідчить про ґрунтову засуху. У серпні із температурами вище +30°C налічувалося 14-25 днів. Період бездощів'я тривав понад 68 днів. Ґрунтово-повітряна засуха активно поширювалася та поглиблювалася, що несприятливо позначилося на стані рослин Kernza. 27 липня було відмічено початок дозрівання зерна (ВВСН 90-92 залежно від варіанту досліду).

Динаміка спектральних індексів чітко узгоджувалася з фенологічними фазами культури. У 2024 р. NDVI зростав від 0,383 (фаза кущіння, ВВСН 27–29) до 0,628 (видовження стебла, ВВСН 31–33), знижувався до 0,468 на початку дозрівання (ВВСН 91–93) за умов посухи та відновлювався до 0,646 в період осіннього кущіння (ВВСН 26–28). У 2025 р. максимальні значення NDVI (0,668–0,691) зафіксовано у фазах весняного кущіння (ВВСН 29–31) та видовження стебла (ВВСН 50–58), мінімальне — 0,261 у фазі дозрівання (ВВСН 90–92).

Індекс NDMI виявив найбільш виражену чутливість до водного режиму: у 2024 р. його значення коливалися від 0,088 до –0,002, що відповідало помірному стресу; у 2025 р. весняні значення NDMI становили 0,194–0,269 (достатня вологозабезпеченість), проте від фази дозрівання до осіннього кущіння знизилися до –0,087...–0,116, підтверджуючи глибокий водний стрес. Індекс NDRE у обидва роки засвідчив загалом достатній рівень азотного живлення (0,254–0,515), за винятком фази дозрівання у 2025 р. (NDRE = 0,159), що вказувало на незначне ушкодження рослин збудниками хвороб.

Модельна невизначеність за дисперсією залишків сплайну становила: NDVI – 0,033; NDMI – 0,034; NDRE – 0,023.

Отже, нами встановлено, що *Kernza* демонструє виражену двофазну динаміку вегетації в умовах Південного Степу України: інтенсивне весняне наростання біомаси (NDVI до 0,691) та здатність до осіннього відновлення після літнього стресу, що свідчить про кліматичну пластичність культури. Для реалізації цього потенціалу за виробничих умов рекомендовано забезпечувати повне мінеральне живлення ($N_{90}P_{56}K_{168}$) із дробним внесенням азоту, що сприяє формуванню більшого стеблостою (на 10–18% порівняно з контролем).

Комплексне використання індексів NDVI, NDMI та NDRE за даними Sentinel-2 дозволяє кількісно ідентифікувати критичні періоди водно-теплогового стресу (NDVI < 0,40; NDMI < 0) та оцінити ступінь відновлення посівів, тому рекомендовано впроваджувати декадний супутниковий моніторинг посівів *Kernza* для оперативного прийняття управлінських рішень.

Літній період є найбільш вразливим етапом онтогенезу рослин *Kernza* в умовах Південного Степу України (зниження NDVI до 0,261, NDMI до –0,116), що обґрунтовує доцільність розроблення адаптивних агротехнологічних прийомів, зокрема оптимізації системи удобрення для мінімізації наслідків ґрунтово-повітряної посухи.

Список використаних джерел

1. Кривохижа Є.М., Матвіїшин А.І., Бринь В.Т. Вплив зміни клімату на врожайність основних сільськогосподарських культур в Україні. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2024. Вип. 3 (44). С. 33–37. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-3.5>
2. Crews T.E., Carton W., Olsson L. Is the future of agriculture perennial? Imperatives and opportunities to reinvent agriculture by shifting from annual monocultures to perennial polycultures. *Global Sustainability*. 2018. 1. e11. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.11>
3. Кургак В., Крюс Т., Ворнер Р., Сарунайте Л., Ткаченко М., Коломієць Л., Ткаченко А., Неймет І. Перспективи вирощування багаторічного проміжного пирію (*Thinopyrum intermedium*) в Україні на зерно та корми. *Землеробство та рослинництво: теорія та практика*. 2024. Вип. 1(11). С. 44–56. <https://doi.org/10.54651/agri.2024.01.05>
4. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Iyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>