

<https://doi.org/10.15407/frg2024.06.529>

УДК: 581.1:633.1:631.811.982

ВПЛИВ АМОНІЮ ТА ТРИНЕКСАПАК-ЕТИЛУ НА ФОТОСИНТЕТИЧНИЙ АПАРАТ І ПРОДУКТИВНІСТЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Л.М. МИХАЛЬСЬКА¹, Т.І. МАКОВЕЙЧУК¹, В.О. ТРЕТЯКОВ¹, О.Л. ЗОЗУЛЯ²,
В.В. ШВАРТАУ¹

¹Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

e-mail: Mykhalskaya_L@ukr.net

²ТОВ «Сингента»

03022 Київ, вул. Козацька, 120/4

У посівах пшениці контроль вилягання та забезпечення рослин азотом упродовж вегетації є складовими формування продуктивності. В польових умовах 2023—2024 рр. визначали вплив амонію у формі сульфату і хлориду та ретарданту тринексапак-етилу (ТЕ) на фотосинтетичний апарат й продуктивність пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) сортів Новосмуглянка і Київська 19. Обробку рослин проводили одноразово у фазу ВВСН 37. За позакореневої обробки посівів пшениці озимої амонійними добривами + ТЕ в прапорцевих листках сортів Новосмуглянка і Київська 19 у фазу виходу в трубку підвищувався вміст хлорофілу на 7,1—9,9 %, до 47,9—54,1 умовних одиниць SPAD. Подібна тенденція зберігалась в подальшому протягом вегетації: у прапорцевих листках рослин пшениці обох сортів, оброблених композицією ретардант + амонійне добриво, вміст хлорофілу був на 4,4—15,2 % більшим у фазу цвітіння та на 3,6—18,6 % у фазу молочної стиглості відносно контролю. За відсутності вилягання посіву застосування ТЕ окремо та в поєднанні з амонійними добривами зберігало вміст фотосинтетичних пігментів у нижчих ярусах, зокрема листках третього ярусу. У рослин пшениці сорту Київська 19, у фазу ВВСН 51, такі листки зберігали вміст хлорофілу в межах 44,6—45,2 ум.од. SPAD, що майже вдвічі перевищувало показники варіанту без обробки. Встановлено, що нормалізований диференційний вегетаційний індекс посівів (NDVI) сорту Київська 19 знаходився в межах 0,78—0,81 у період ВВСН 51—59, а сорту Новосмуглянка — 0,77—0,82. Найвищий рівень NDVI 0,82 відзначали на посівах сорту Новосмуглянка за обробки рослин сульфатом амонію + ТЕ, що відповідало врожайності 117,5—118,0 ц/га (на 8,8—9,2 % більше ніж у контролі). Застосування сульфату амонію збільшувало масу 1000 зерен на 20,7 % (+9,9 г) у пшениці озимої сорту Київська 19, у сорту Новосмуглянка показники залишались на рівні контрольних. Обробка в 2023 р. посівів пшениці сорту Київська 19 хлоридом амонію + ТЕ сприяла приросту маси 1000 зерен на 15,2 % (+7,3 г); за внесення хлориду амонію — на 21,7 % (+10,4 г), сорту Новосмуглянка — на 13 % (+5,7 г) порівняно з необробленим контролем. Використання ТЕ у композиції з сульфатом амонію в 2024 р. на посівах пшениці озимої сортів

Цитування: Михальська Л.М., Маковейчук Т.І., Третяков В.О., Зозуля О.Л., Швартау В.В. Вплив амонію та тринексапак-етилу на фотосинтетичний апарат і продуктивність пшениці озимої. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. 56, № 6. С. 529—547. <https://doi.org/10.15407/frg2024.06.529>

Київська 19 і Новосмуглянка сприяло зростанню врожайності на 5,2—23,0 % (+5—20 ц/га), порівняно з контролем, внаслідок збільшення кількості та маси зерен з колоса. Вміст білка в зерні пшениці озимої знаходився на рівні 12,59—13,24 %, вміст клейковини — 26—27,50 % залежно від застосованих азотних добрив, тоді як у 2024 р. ці показники становили 14,30—16,76 % та 23,5—35,5 % відповідно, залежно від сорту та варіанта обробки рослин. У варіантах із підвищеним вмістом білка та клейковини в зерні, як і в попередньому сезоні, також відзначали певне зниження вмісту вуглеводів і жирів. Таким чином, позакоренева обробка амонійними азотними добривами та у композиціях з ТЕ може бути використана для подовження вегетації (stay-green) й відповідного підвищення продуктивності пшениці озимої за обмежених рівнів мінерального живлення, а також для покращення якості зерна.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., амонійне позакореневе живлення, сульфат амонію, хлорид амонію, тринексапак-етил, SPAD-індекс, NDVI, продуктивність.

Вирощування сучасних сортів пшениці озимої з високим потенціалом продуктивності успішне за підвищення ефективності використання ресурсів: азотних добрив, води тощо й впровадження систем захисту посівів, які дозволяють розкрити генетичний потенціал рослин [1, 2].

Азот є одним із найважливіших елементів живлення рослин, що впливає не тільки на рівень урожайності пшениці, а й на якість зерна [3—5]. Пшениця є азотофілом [6], а рівень азотного живлення може впливати на кількість стебел у посіві, й відповідно, за підвищення доз азоту призводити до вилягання посівів.

Вилягання посівів негативно відображається на фотосинтетичній активності, транспорті вуглеводів та обміні води в рослинах [7], що може погіршити наповнення зерна й спричинити зменшення врожайності до 60—80 % [8]. Вилягання зернових культур зумовлює також підвищення рівнів ураженості хворобами листків і колоса, погіршуючи технологічні та якісні характеристики зерна. Навіть пізнє вилягання, перед жнивими, може ускладнити умови збору й призвести до втрат урожаю.

Регулятори росту використовують для запобігання вилягання рослин і поліпшення компонентів врожайності та продуктивності зернових колосових культур. Вони змінюють архітектуру рослин, знижуючи висоту стебла та оптимізуючи розподіл фотоасимілятів, що сприяє підвищенню продуктивності й покращенню якості зерна [9, 10].

Ретардант тринексапак-етил (ТЕ) належить до групи циклогександіонів, які пригнічують біосинтез гіберелінів (ГК) [11] і видовження клітин. ТЕ інгібує фермент 3 β -гідроксилазу, знижує рівень активної гібереллової кислоти (ГК₁), що призводить до збільшення її біосинтетичного попередника ГК₂₀. Зменшення висоти стебла відбувається внаслідок зниження рівня ГК₁, що впливає на уповільнення подовження міжвузлів, тому рослини мають нижчу висоту та потовщені/міцніші стебла. Наприклад, ТЕ зменшує висоту рослин пшениці-дворучки на 17,3 см [12], у м'якої пшениці озимої на 7 см і збільшує міцність стебла на 13 % у твердої пшениці ярої [11]. ТЕ

інгібує вегетативний ріст рослин родини Poaceae, зменшує вилягання та оптимізує перерозподіл фотоасимілятів до репродуктивних органів [13].

За застосування високих норм внесення добрив, використання ТЕ зменшувало вилягання посівів зернових колосових культур, таких як пшениця, ячмінь (*Hordeum vulgare* L.), рис (*Oryza sativa* L.) [14, 15], збільшувало кількість насінин у колосі, довжину колоса та масу 1000 зерен і сприяло поліпшенню якості зерна та збереженню врожайності [13, 16—18]. Регулятори росту застосовували також за дефіциту вологи з метою оптимізації водного балансу культурних рослин [19]. Втім, у виробництві їхнє використання за несприятливих умов вирощування, на низьких фонах живлення, часто не сприяє підвищенню врожаю зернових колосових культур. Інгібітори росту за дефіциту вологи можуть скорочувати фотосинтетичну поверхню внаслідок зменшення висоти рослини, площі листків, а також зменшувати довжину колоса, виповненість зерна тощо [20, 21].

Важливим показником стану рослин є вміст пігментів у активно фотосинтезуючих тканинах. Показник кількості хлорофілу в листках вказує на стан, в якому перебувають рослини в певну фазу росту, та їх забезпеченість азотом [22], що визначає потенційну можливість фотосинтетичного апарату впливати на загальну продуктивність рослин. Так, позакореневе застосування ТЕ в композиції з сульфатом амонію, на рослинах пшениці-дворучки сорту Зимоярка, покращувало асиміляційну здатність листків внаслідок підвищення в них вмісту хлорофілу та подовжувало період вегетації рослин, що в результаті сприяло збільшенню маси 1000 зерен [12].

Вплив різного роду чинників на стан посівів визначають методами дистанційного моніторингу за використання спектральних камер супутників чи дронів. У наземних дослідженнях моніторинг стану вегетативного розвитку рослин проводять з використанням, наприклад, оптичного сенсора GreenSeeker для оцінки рівнів NDVI, беручи до уваги інтенсивність зеленого забарвлення листків, або наростання біомаси рослин [23—27], що змінюється в різні періоди вегетації. Оцінка стану посівів сільськогосподарських культур оптичними методами ґрунтується на властивості зелених листків (пігмент хлорофіл) поглинати світлові хвилі у червоному (RED) видимому діапазоні частот і відбивати світло в ближньому, інфрачервоному (NIR) діапазоні [26, 27]. Взаємозв'язок значень яскравості цих двох спектральних діапазонів частот дає змогу визначати стан посівів і прогнозувати врожайність пшениці [26, 28, 29].

Метою нашої роботи було визначити вплив амонійних добрив у формі $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4Cl та ретарданту — похідного циклогександіонів тринексапак-етилу на подовження фотосинтетичної активності у період генеративного розвитку посівів і продуктивність пшениці озимої.

Методика

Польові дрібноділянкові досліді проводили на базі Дослідного сільськогосподарського виробництва Інституту фізіології рослин і ге-

нетики НАН України в с-щі Глеваха Фастівського р-ну Київської обл. на посівах пшениці озимої у 2023—2024 рр.

Досліди проводили на дерново-, слабо- та середньопідзолистому неоглеєному і глеюватому супіщаному ґрунті. Ґрунт ДСВ типовий для зони Полісся й характеризується низьким рівнем родючості з рН сольової витяжки ґрунту наближеним до 5,9. Високий вміст глинистих фракцій зумовлює дефіцит багатьох елементів, навіть за достатнього їх вмісту в ґрунті, внаслідок зниження частки рухомих форм, особливо амонію і ортофосфату.

Загальний вміст вибраних неорганічних елементів у ґрунтах ДСВ ІФРГ НАН України визначали методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-OES) [30] (табл. 1).

Порівняно з відомим валовим вмістом мікроелементів у ґрунтах Полісся України [31], ґрунти дослідної локації належать до типових ґрунтів регіону з низькими рівнями вмісту біологічно важливих елементів живлення. У порівнянні з вмістом мікроелементів у ґрунтах Полісся, ґрунти ДСВ ІФРГ НАН України є одними з найменш забезпечених біологічно важливими неорганічними елементами живлення. Відповідно, за внесення добрив, впровадження систем захисту, рівень відгуку/реакції на внесення/обробки може бути підвищеним.

Посіви пшениці озимої сортів Новосмулянка і Київська 19 селекції ІФРГ НАН України обробляли позакоренево азотними добривами: сульфат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N — 21 % в амонійній формі, S — 24 % у вигляді сульфату, Yara Sulfan, Німеччина), 1,0 кг/га, хлорид амонію $(\text{NH}_4)\text{Cl}$ (N — 24—25 %, Китай), 1,0 кг/га, регулятором росту рослин ТЕ (моддус 250 ЕС, тринексапак-етил, 250 г/л, Syngenta, Швейцарія/Китай), 0,6 л/га, окремо та у композиції регулятор росту + амонійне добриво, одноразово, навесні — у фазу ВВСН 37. Площа ділянки — 12,95 м², площа облікової ділянки — 10 м².

Контролем слугували посіви зазначених сортів. Протруйник вайбранс інтеграл 235 FS, ТН (седаксан, 25 г/л + флудіоксоніл, 25 г/л + тебуконазол, 10 г/л, тіаметоксам, 175 г/л), 2,0 л/т. Фон живлення

ТАБЛИЦЯ 1. Загальний вміст вибраних неорганічних елементів у ґрунтах ДСВ ІФРГ НАН України, ICP-MS Agilent 5900

Елемент	Загальний вміст, мг/кг	Рухомі форми, мг/кг
K	1490±78	160±14
Na	310±18	26±2
Mg	1100±70	79±3
Ca	265±71	4±1
Mn	203±11	19±2
Fe	5111±178	25±4
Cr	19±2	0,2±0,1
Co	3±1	0,5±0,1
Cu	6±1	0,4±0,2
Zn	19±3	2±1

у досліді $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$: діаміфоска перед посівом, аміачна селітра по мерзлоталому ґрунту (N_{30}) та перед виходом у трубку (N_{30}). Гербіцид застосовували восени, у фазу другого—третього листка, легатотрію (раніше триніти) Adama (пендиметалін, 300 г/л + хлортолурон, 250 г/л + дифлуфенікан, 40 г/л), 2,0 л/га.

Упродовж вегетації рослини контрольних і дослідних ділянок обробляли фунгіцидами та інсектицидом, зокрема у фазу BBCH 27—30 альто супер 330 ЕС, к.е. (ципроконазол, 80 г/л + пропіконазол, 250 г/л), 0,5 л/га; у фазу BBCH 37—39 вносили фалькон 460 ЕС, КЕ (тебуконазол, 167 г/л + триадименол, 43 г/л + спіроксамін, 250 г/л), 0,9 л/га; у фази BBCH 37—39 та 65—75 вносили інсектицид енжіо 247 SC, КС (тіаметоксам, 141 г/л + лямбда-цигалотрин, 106 г/л), 0,18 л/га.

Вміст хлорофілу в прапорцевих листках рослин пшениці озимої визначали портативним хлорофіломіром SPAD-502 (Konica Minolta, Японія) [32]; повторність 90—120 визначень у варіанті. Нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI) посіву рослин пшениці озимої сортів Новосмулянка та Київська 19 визначали у період BBCH 51—59 портативним NDVI-тестером GreenSeeker Handheld Crop Sensor (Trimble Agriculture, США) [26].

Урожай збирали прямим обмолотом зерна комбайном зі всієї облікової ділянки у фазу повної стиглості. Зерно з кожної ділянки зважували і визначали його вологість. Якісні показники зерна пшениці озимої сортів Новосмулянка та Київська 19 визначали портативним інфрачервоним аналізатором GrainSense Analyzer 21002037 (Фінляндія). Зразки зерна пшениці аналізували на вміст білка, клейковини, вуглеводів, жирів. Показники визначали в п'ятиразовій повторності для кожного варіанта. Повторність дослідів 4—5-разова.

Результати оброблено статистично з використанням програми Microsoft Excel 2019 з StatPlus LE від AnalystSoft Inc. Version v.7.7.0 (<https://www.analystsoft.com/en/>). Результати в таблицях виражені як середнє значення та стандартна похибка ($\bar{x} \pm SE$). Відмінності між варіантами вважали вірогідними за $p < 0,05$ з використанням критерію вірогідних відмінностей Тьюкі для середніх значень.

Результати та обговорення

Кількість хлорофілу визначає потенційні можливості фотосинтетичного апарату в формуванні загальної біологічної продуктивності рослин. У пшениці озимої існує тісна кореляція вмісту хлорофілу з урожаєм і кількістю білка в зерні у період генеративного розвитку. Асиміляційний апарат відіграє важливу роль у продуктивності рослин та тісно пов'язаний з фотосинтезом [33, 34].

Показано, що за позакореневої обробки посівів пшениці озимої амонійними добривами, такими як сульфат амонію, хлорид амонію та у поєднанні з ТЕ в листках досліджуваних сортів Новосмулянка і Київська 19 збільшувався вміст хлорофілу (табл. 2, 3).

За обробки рослин пшениці озимої позакоренево композиціями регулятор росту ТЕ (моддус, 0,6 л/га) + азотне добриво, у фазу трубкування спостерігали підвищення вмісту хлорофілу в прапорцевих листках обох сортів на 7,1—9,9 % (47,9—54,1 ум.од. SPAD), вірогідно через зростання біосинтезу пігментів. Зростання рівнів забарвлення листка і, відповідно, кількості хлорофілу в ньому, відзначали за обробки рослин пшениці сульфатом амонію з додаванням регулятора росту рослин у сорту Київська 19 на 6,5 %, а в сорту Новосмулянка

ТАБЛИЦЯ 2. Вплив тринексанак-етили і амонійних добрив на вміст хлорофілу в листках рослин пшениці озимої сорту Новосмулянка (2024 р.)

Варіант	SPAD-індекс, ум. од.							
	ВВСН 37–39				ВВСН 61			
	I	II	3-й листок	I	II	3-й листок	I	II
Контроль (вода)	44,7±2,2 ^a	42,0±1,7 ^a	38,3±2,1 ^a	49,7±1,5 ^a	41,6±1,8 ^a	34,6±2,8 ^a	46,8±1,4 ^a	44,8±2,2 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	45,9±2,1 ^{ab}	43,7±1,8 ^a	35,6±2,4 ^a	48,5±1,8 ^a	40,2±1,9 ^a	32,9±2,7 ^a	49,5±1,2 ^b	44,1±1,9 ^a
Хлорид амонію, 1,0 кг/га	47,6±2,1 ^b	43,8±1,6 ^a	37,3±2,3 ^a	48,9±1,6 ^a	39,9±1,8 ^a	20,1±4,5 ^b	48,4±1,9 ^a	48,1±2,0 ^b
Молдус, 0,6 л/га	47,5±2,0 ^b	43,2±1,8 ^a	39,7±2,4 ^a	45,7±1,8 ^a	41,0±1,8 ^a	34,2±2,7 ^a	44,2±1,5 ^a	38,9±3,7 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + молдус, 0,6 л/га	47,9±2,4 ^b	45,3±1,9 ^b	40,8±2,3 ^{ab}	52,2±1,9 ^b	43,4±2,0 ^b	37,9±1,5 ^b	51,6±2,3 ^b	43,4±1,8 ^a
Хлорид амонію, 1,0 кг/га + молдус, 0,6 л/га	49,5±2,4 ^b	45,5±1,9 ^b	41,3±2,3 ^b	51,9±1,8 ^b	46,8±2,1 ^b	35,7±2,3 ^a	48,5±1,2 ^a	44,6±1,8 ^a

Примітка. В табл. 2–3: I — праторцевий листок, II — підрапорцевий листок;
з табл. 2–7: середні значення показника, позначені однаковими літерами, свідчать про недостовірну різницю за $p < 0,05$.

ТАБЛИЦЯ 3. Вплив тринексанак-етили і амонійних добрив на вміст хлорофілу в листках рослин пшениці озимої сорту Київська 19 (2024 р.)

Варіант	SPAD-індекс, ум. од.							
	ВВСН 37–39				ВВСН 61			
	I	2-й листок	3-й листок	I	2-й листок	3-й листок	I	2-й листок
Контроль (вода)	49,2±1,3 ^a	49,7±1,8 ^a	45,9±1,0 ^a	52,0±0,9 ^a	53,4±2,4 ^a	41,4±1,4 ^a	49,0±1,4 ^a	43,9±2,7 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	48,7±1,4 ^a	46,5±1,9 ^a	41,6±2,7 ^a	51,2±1,1 ^a	49,7±2,5 ^a	40,0±1,6 ^a	53,5±1,1 ^a	48,7±2,9 ^a
Хлорид амонію, 1,0 кг/га	48,5±1,4 ^a	45,1±1,9 ^a	45,5±1,9 ^a	52,7±1,3 ^a	47,8±2,5 ^a	40,1±1,5 ^a	53,5±1,5 ^a	47,8±2,7 ^a
Молдус, 0,6 л/га	49,9±1,7 ^a	45,9±1,7 ^a	44,8±1,8 ^a	49,7±1,1 ^a	44,3±2,1 ^a	44,1±1,7 ^a	51,7±2,8 ^a	44,5±2,1 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + молдус, 0,6 л/га	52,4±1,4 ^b	48,5±2,1 ^a	44,2±1,7 ^a	54,5±1,6 ^b	56,9±1,4 ^b	46,5±1,5 ^b	58,1±1,1 ^b	54,2±1,8 ^b
Хлорид амонію, 1,0 кг/га + молдус, 0,6 л/га	54,1±1,5 ^b	51,9±2,3 ^a	48,8±1,5 ^{ab}	59,9±1,5 ^{ab}	50,3±1,2 ^a	45,9±1,1 ^b	55,9±1,1 ^b	46,5±1,8 ^a

на 7,1 %, тобто на 3,2 ум.од. SPAD більше, ніж у контролі. Додавання хлориду амонію до ретарданту збільшувало вміст хлорофілу майже на 10 % в обох сортів. За використання хлориду амонію окремо, на посівах пшениці сорту Новосмуглянка, спостерігали підвищення вмісту хлорофілу на 6,5 % і, зокрема, за обробки самим ретардантом — на 6,3 % вище контрольних показників, тоді як на інших варіантах із внесенням добрив ці показники були дещо нижчі контрольних, як-от на посівах сорту Київська 19. Варто зазначити, що показник вмісту хлорофілу в листках пшениці сорту Новосмуглянка у контролі був нижчим, ніж у сорту Київська 19 і становив відповідно 44,7 та 49,2 ум.од. SPAD.

Подібна тенденція зберігалася упродовж вегетації. У прапорцевих листках рослин пшениці обох сортів, оброблених композицією регулятор росту + амонійне добриво, вміст хлорофілу був на 4,4—15,2 % більшим у фазу цвітіння та на 3,6—18,6 % — молочної стиглості, відносно контролю.

Показник вмісту хлорофілу в прапорцевих листках пшениці озимої сорту Новосмуглянка у фазу молочної стиглості за обробки азотними добривами був у межах 48,4—49,5, а у сорту Київська 19 — 53,5 ум. од., тоді як із додаванням регулятора росту до добрив, зростав до 48,5—51,6 та 55,9—58,1 умовних одиниць SPAD відповідно. Вміст хлорофілу в листках рослин пшениці озимої сорту Київська 19 за впливу ТЕ був на рівні 51,7 ум.од. SPAD, тобто на 7,7 % більше, ніж у контролі.

Вміст хлорофілу в контрольних листках рослин сорту Новосмуглянка був на рівні 46,8, а в сорту Київська 19 — 49,0 ум.од. SPAD.

Підпрапорцеві листки сорту Київська 19 у фазу молочної стиглості мали вищий вміст хлорофілу за всіх видів обробки, на відміну від пшениці сорту Новосмуглянка, де цей показник був майже на рівні контролю або меншим за всіх інших варіантів обробки, крім варіанта з обробкою хлоридом амонію, де він становив 48,1 ум.од., що на 7,4 % більше, ніж у контролі.

Зазначимо, що за відсутності вилягання посіву застосування ТЕ окремо та в поєднанні з амонійними добривами зберігало вміст фотосинтетичних пігментів у нижчих ярусах, зокрема листках третього ярусу. У рослин пшениці сорту Київська 19 у фазу BBCH 51 в цих листках зберігався або підтримувався вміст хлорофілу на досить високому рівні, як для цього ярусу, в межах 44,6—45,2 ум.од. SPAD, що майже вдвічі перевищувало контрольні показники у варіанті без обробки.

На ефективне використання азоту та якість зерна істотно впливає сірка. У пшениці та більшості інших культур сірка відіграє важливу роль у фотосинтезі, зокрема синтезі хлорофілу, білків, що містять три незамінні амінокислоти — метіонін, цистин і цистеїн [35]. Окрім впливу сірки на врожайність, її вміст у зерні є важливою ознакою якості зерна пшениці [36]. Дефіцит сірки в сільськогосподарських рослинах обмежує ріст культур, врожайність та якість продукції.

Типовою ознакою дефіциту сірки є зниження вмісту хлорофілу в молодих листках. Так, у дослідях на вапняково-кам'янистому ґрунті

розрізняли варіанти удобрених сіркою та неудобрених дослідних ділянок. На стадії колосіння вміст хлорофілу в листках пшениці підвищувався за різних варіантів внесення сірки на 42–54 %, в умовах 2004 р., а в 2005 р. — на 14–26 %. З елементів структури врожаю важливе значення мають кількість продуктивних стебел, кількість зерен у колосі та маса 1000 зерен, які безпосередньо впливали на врожайність [37, 38].

Певну роль у фотосинтезі також відіграє і хлор (Cl), у концентраціях характерних для мікроелементів [39]. Хлор — важливий елемент живлення, дефіцит якого знижує продуктивність рослин. Хлор необхідний в осмотичній регуляції, регуляції продигової провідності, утворенні кисню у фотосинтезі, стійкості до хвороб і толерантності до стресів. За винятком деяких видів рослин, середні концентрації хлору в рослинах знаходяться в межах 2–20 г/кг сухої речовини. Сучасна практика скорочення внесення добрив, обмеження внесення хлориду калію окремо та у складі NPK, може посилити дефіцит Cl, особливо на легких піщаних ґрунтах із низьким вмістом органічної речовини та високими рівнями промивного режиму. Таким чином, позакореневе застосування хлориду амонію важливе для живлення рослин упродовж вегетації, а також має значення для контролю фізіологічних плямистостей листків і підвищення продуктивності посівів зернових колосових культур [40].

Отже, амонійні добрива, до складу яких входять сульфати чи хлориди у поєднанні з регулятором росту підвищували вміст хлорофілу в листках пшениці озимої, особливо у фазу виходу в трубку та молочної стиглості, подовжуючи таким чином функціонування фотосинтетичного апарату листків, що краще проявлялося у більш нового й продуктивного сорту Київська 19.

Встановлено, що показники NDVI пшениці озимої сорту Київська 19 у період BBCH 51–59 знаходились у межах 0,78–0,81, а в сорту Новосмуглянка варіювали від 0,77 до 0,82 (табл. 4). Найвищий вміст хлорофілу та активність фотосинтетичних процесів відзначали на посівах пшениці озимої сорту Новосмуглянка, зі значенням NDVI 0,82, за обробки рослин сульфатом амонію та з додаванням у робочий розчин регулятора росту ТЕ, що на 5,1 % вище контрольних показників, тоді як на посівах пшениці Київська 19 з аналогічною обробкою значення NDVI знаходились на рівні 0,79 та не різнилися між варіантами, відмінності були у межах похибки. Вегетаційний індекс рослин пшениці озимої обох сортів за обробки хлоридом амонію становив 0,81, що свідчить про хороший розвиток посівів за посилення забезпечення рослин азотом. Аналогічний результат (0,81) отримано на посівах сорту Київська 19 за обробки рослин ТЕ. Збільшення індексу, імовірно, пов'язане зі зростанням вмісту хлорофілу на одиницю площі і/або об'єму тканини листка [41]. Зростання вмісту хлорофілу може позитивно впливати на врожай через збільшення інтенсивності фотосинтезу рослин під час вегетації. Необхідною умовою отримання високої урожайності посівів зернових культур є максимальне збереження асиміляційної поверхні листка для подовження терміну активності фотосинтетичних процесів. Нижчі значення

Таблиця 4. Вплив азотних добрив і тринексапак-етилу на NDVI (ум. од.) посівів пшениці озимої сорту Київська 19 (2023 р.)

Варіант	Новосмулянка				Київська 19		
	NDVI		Урожайність, ц/га		NDVI		Урожайність, ц/га
	ВВСН 61	ВВСН 75-80			ВВСН 61	ВВСН 75-80	
Контроль	0,76±0,02 ^a	0,28±0,05 ^a	108,0 ^a		0,78±0,02 ^a	0,45±0,03 ^a	109,0 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	0,82±0,02 ^a	0,37±0,07 ^b	117,5 ^b		0,79±0,02 ^a	0,51±0,02 ^b	110,5 ^a
Хлорид амонію, 1,0 кг/га	0,80±0,02 ^a	0,39±0,07 ^b	115,0 ^b		0,80±0,02 ^a	0,50±0,02 ^b	114,5 ^a
Модус, 0,6 л/га	0,79±0,03 ^a	0,31±0,02 ^a	111,0 ^a		0,80±0,01 ^a	0,47±0,02 ^a	115,0 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + модус, 0,6 л/га	0,82±0,02 ^a	0,44±0,03 ^b	118,0 ^b		0,79±0,02 ^a	0,55±0,02 ^b	116,0 ^b
Хлорид амонію, 1,0 кг/га + модус, 0,6 л/га	0,79±0,03 ^a	0,41±0,05 ^{ab}	113,5 ^b		0,79±0,02 ^a	0,53±0,02 ^b	118,0 ^b
ІНР _{0,05}	—	—	2,5		—	—	2,4

NDVI, майже на рівні контрольних показників, або дещо менші, відзначали за варіантів обробки хлоридом амонію з ТЕ. Порівняно з контролем (NDVI 0,78, врожайність 108—109 ц/га) застосування ТЕ підвищувало врожайність зерна на 2,8—5,5 %, що підтверджується результатами досліджень інших авторів [42].

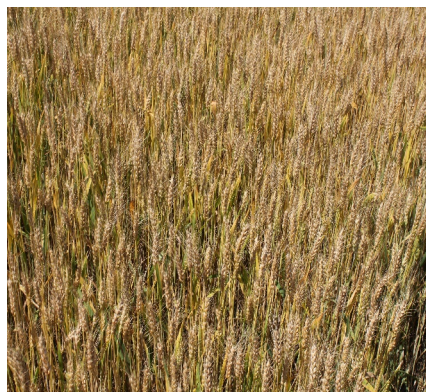
Солі амонію у композиціях з ретардантом, як сульфат, так і хлорид, сприяли підвищенню рівнів NDVI та подовженню вегетації. Відомо, що позакореневе внесення азотних добрив у другій половині вегетації пшениці озимої є ефективним методом для покращення виповненості зерна та пом'якшення стресу від посухи. Показано [43], що регуляторні ефекти різних форм позакореневого азоту [NO_3^- , NH_4^+ та $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] на виповненість зерна пшениці в умовах посухи різнилися. Позакореневе внесення NH_4^+ -N помітно подовжувало період виповнення зерна. Позакореневе внесення $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ та NO_3^- -N мало протилежну дію щодо подовження вегетації: прискорювало швидкість перебігу періоду наливання зерна та регулювало рівні абсцизової кислоти (ABA), z-рибозиду (ZR) та етилену (ETH) в зерні пшениці. Аналіз експресії генів показав, що $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ і NO_3^- -N підвищують регуляцію активності генів, залучених до шляху перетворення цукрози в крохмаль, сприяючи ремобілізації вуглеводів і синтезу крохмалю в зерні. Крім того, активність супероксиддисмутази (СОД), пероксидази (ПОД) та каталази (КАТ) зростала, тоді як вміст малонового діальдегіду (МДА) знижувався за позакореневого внесення NH_4^+ азоту. Таким чином, внесення NH_4^+ -N покращило активність антиоксидантної фер-

ментативної системи і затримало транспортування фотоасимілятів. На противагу, позакореневе внесення NO_3^- -N і $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ підвищувало поглинальну здатність і зменшувало стресовий вплив посухи на пшеницю [43].

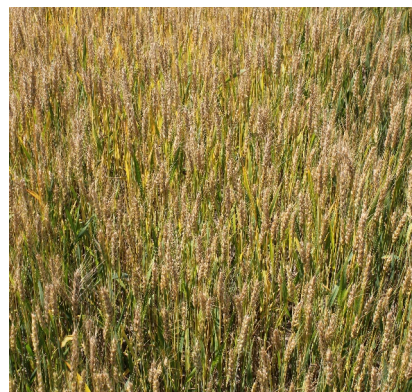
В останніх дослідженнях також підтверджено роль позакореневого внесення азотних добрив на фотосинтетичну активність та продуктивність посівів пшениці. Позакореневе підживлення пшениці озимої забезпечило середній приріст врожайності від 450 до 765 кг/га та показники якості з вмістом білка від 11,5 до 12,6 %, клейковини від 21,5 до 24,0 % та вегетативним індексом від 29,0 до 39,0 %, а маса 1000 зерен становила від 48,0 до 50,5 г [44].

Найвищу врожайність пшениці озимої сорту Новосмулянська отримано на варіантах з обробкою рослин сульфатом амонію, 1,0 кг/га та з ТЕ, — 117,5—118,0 ц/га, відповідно, що на 8,8—9,2 % (+9,5—10 ц/га) більше, ніж у контролі. Приріст урожаю відбувався завдяки активній вегетації посівів внаслідок збільшення вмісту хлорофілу в листках та подовження терміну перебігу фотосинтетичних процесів (рисунк), що було показано також у наших попередніх дослідженнях [12], і забезпечення рослин азотом, порівняно з контрольним варіантом. Уповільнене старіння уможливило краще засвоєння вуглеводів і, як наслідок, формування вищих врожаїв [45]. У сорту Київська 19 за аналогічної обробки показники були на рівні контрольних, тобто 110,0—110,5 ц/га відповідно. Урожайність пшениці озимої сорту Київська 19 за обробки рослин ТЕ становила 115,0 ц/га, що на 5,5 % (6,0 ц/га) більше, ніж у контролі. Стимулювальний вплив ТЕ на зростання вмісту хлорофілу, покращення фотосинтетичної здатності й ефективності фотосинтезу листків, інтенсивність азотного обміну, розвиток кореневої системи тощо було обґрунтовано результатами досліджень багатьох вчених [41, 46, 47].

Позакореневі обробки рослин пшениці сортів Київська 19 та Новосмулянська азотними добривами, зокрема хлоридом амонію сприя-



Контроль



Сульфат амонію + ТЕ

Подовження вегетації пшениці озимої сорту Новосмулянська за впливу тринексапакетилю та амонійного азоту (2024 р.)

ли приросту врожайності на 5,5 % (+5,5 ц/га) і 6,5 % (+7,0 ц/га) відповідно, щодо контролю.

Сульфат амонію внесений позакоренево на посівах пшениці озимої сорту Київська 19 сприяв збільшенню маси 1000 зерен на 20,7 % (+9,9 г), тоді як у сорту Новосмуглянка показники залишались у межах контролю. Обробка рослин пшениці озимої сорту Київська 19 хлоридом амонію позакоренево сприяла приросту маси 1000 зерен на 21,7 % (+10,4 г), а у сорту Новосмуглянка — на 13 % (+5,7 г) вище контрольних показників. Застосування композиції хлорид амонію + ТЕ у сорту Київська 19 збільшувало масу 1000 зерен на 15,2 % (+7,3 г), тоді як у Новосмуглянки цей показник був майже на рівні контролю (табл. 5).

Інгібітори росту впливають на кількість і масу 1000 зерен у колосі та на продуктивність зернових колосових культур [20, 48—51].

Використання регулятора росту на рослинах пшениці озимої обох сортів, у фазу ВВСН 37 сприяло збільшенню маси 1000 зерен на 4,6—5,9 % (+2,0—2,8 г) відносно контролю. За обробки посівів пшениці озимої сортів Новосмуглянка та Київська 19 ретардантом у композиції з сульфатом амонію спостерігали позитивний вплив щодо збільшення маси 1000 зерен на 5,6—21,0 % (+2,4—10,0 г) відповідно, порівняно з контрольним варіантом без обробки.

У сезоні 2023/2024 р., коли у фазу наливання і досягання зерна спостерігали період з високими температурними режимами і відсутністю достатньої кількості опадів, застосування ТЕ окремо та у поєднанні з азотними добривами на посівах пшениці озимої у фазу ВВСН 37 не показало збільшення маси 1000 зерен, вона була на рівні контрольних показників або дещо меншою.

Позакореневі обробки рослин пшениці сорту Новосмуглянка азотними добривами, зокрема сульфатом амонію і хлоридом амонію окремо, сприяло приросту врожайності на 21,8 % щодо контролю (табл. 6).

Урожайність пшениці озимої сорту Новосмуглянка за обробки ТЕ підвищувалась на 3,4 %, що в межах похибки, а в сорту Київська 19 зменшувалась на 8,4 %, кількість зерен з колоса збільшувалася при цьому на 5,4—30,9 % відносно контролю.

Використання ТЕ у композиції з сульфатом амонію на пшениці озимій сортів Київська 19 і Новосмуглянка сприяло зростанню врожайності на 5,2—23,0 % (+5,0—20,0 ц/га) порівняно з контролем, завдяки збільшенню кількості та маси зерен з колоса.

Показники якості визначали польовим аналізатором GrainSense Analyzer 21002037 (Фінляндія), який дає змогу оперативно визначити відмінності дослідних варіантів відносно контролю. Низка показників, зокрема вміст білка та клейковини, можуть бути дещо занижені упродовж перших одного—трьох років періоду вдосконалення референтної бази даних. Результати нашого дослідження показують, що середній вміст клейковини в зерні пшениці озимої сортів Новосмуглянка і Київська 19 становив від 26,00 до 27,50 % залежно від варіанта обробки рослин (хлоридом чи сульфатом амонію), порівняно з контрольними варіантами (24,50—25,50 % відповідно). Повідо-

Таблиця 5. Вплив транексинак-етиду та амонійних добрив на якість показники зерна пшениці озимої сорти Новосмулянка і Київська 19 (2023 р.)

Варіант	Новосмулянка						Київська 19			
	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Клейко-вина, %	Вуглеводит., %	Жири, %	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Клейко-вина, %	Вуглеводит., %	Жири, %
Контроль	44,01 ^а	12,48 ^а	24,50 ^а	86,08 ^а	1,77 ^а	48,02 ^а	12,33 ^а	23,50 ^а	86,17 ^а	1,48 ^а
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	44,25 ^а	12,64 ^а	26,00 ^б	85,51 ^а	1,75 ^а	57,97 ^а	13,24 ^а	27,50 ^б	85,49 ^а	1,29 ^а
Хлорид амонію, 1,0 кг/га	45,77 ^а	12,59 ^а	26,00 ^б	85,64 ^а	1,77 ^а	58,42 ^а	13,14 ^а	27,00 ^б	85,55 ^а	1,31 ^а
Молюс, 0,6 л/га	46,04 ^б	12,51 ^а	25,50 ^а	85,73 ^а	1,76 ^а	50,86 ^а	12,32 ^а	25,50 ^б	86,21 ^а	1,47 ^а
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + молюс, 0,6 л/га	46,46 ^б	12,99 ^б	27,00 ^б	85,29 ^а	1,74 ^а	58,11 ^а	12,85 ^б	26,50 ^б	85,83 ^а	1,32 ^а
Хлорид амонію, 1,0 кг/га + молюс, 0,6 л/га	46,57 ^б	12,75 ^а	26,00 ^б	85,68 ^а	1,78 ^а	55,32 ^б	12,75 ^б	26,00 ^б	85,86 ^а	1,41 ^а
НПР _{0,05}	2,01	0,40	1,49	2,01	0,08	2,04	0,33	2,18	1,95	0,21

Таблиця 6. Вплив амонійних добрив і транексинак-етиду на врожайність рослин пшениці озимої сорти Новосмулянка і Київська 19 (2024 р.)

Варіант	Новосмулянка				Київська 19			
	Маса зерен з колоса, г	Кількість зерен у колосі, шт.	Урожайність, ц/га	Маса зерен з колоса, г	Кількість зерен у колосі, шт.	Урожайність, ц/га		
Контроль	1,76 ^а	36,2 ^а	97,0 ^а	2,39 ^а	46,1 ^а	99,0 ^а		
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	1,91 ^б	39,6 ^а	106,0 ^б	2,41 ^а	47,1 ^а	107,1 ^б		
Хлорид амонію, 1,0 кг/га	1,76 ^а	36,8 ^а	102,0 ^а	2,40 ^а	47,8 ^а	103,1 ^б		
Молюс, 0,6 л/га	2,19 ^б	46,1 ^б	98,0 ^а	2,50 ^б	48,6 ^б	97,0 ^а		
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + молюс, 0,6 л/га	1,95 ^б	44,0 ^б	107,0 ^б	2,53 ^б	47,1 ^а	105,0 ^б		
Хлорид амонію, 1,0 кг/га + молюс, 0,6 л/га	2,13 ^б	48,0 ^б	101,0 ^а	2,45 ^а	48,7 ^б	103,0 ^а		
НПР _{0,05}	0,07	3,5	5,3	0,11	2,4	5,1		

млялося [4], що збільшення норм азотних добрив забезпечувало значне підвищення показників якості зерна пшениці озимої. За результатами наших досліджень вміст білка в зерні пшениці озимої змінювався в середньому від 12,59 до 13,24 % залежно від використаних азотних добрив (див. табл. 5).

Застосування позакоренево сульфату амонію на посівах пшениці озимої сорту Київська 19 сприяло збільшенню вмісту білка до 13,24 %, а клейковини — 27,50 %. Додавання до вказаної речовини ТЕ залишало якісні показники зерна майже на рівні контрольних. Збільшення вмісту клейковини до 27,0 % та незначне підвищення білка в зерні, яке було на рівні 12,99 %, що в межах похибки, спостерігалось і у сорту Новосмуглянка, за застосування композиції сульфат амонію + ТЕ. Зерно пшениці сорту Новосмуглянка в контрольному варіанті мало вміст білка на рівні 12,48 %, клейковини 24,50 %, тоді як зерно сорту Київська 19 — 12,53 % і 25,50 %, відповідно (табл. 5). У варіантах із підвищеним вмістом білка та клейковини в зерні відзначали незначне зниження вмісту вуглеводів і жирів, тобто майже на рівні контрольних показників або дещо нижчих.

Пшениця озима за обробки ТЕ окремо мала дещо нижчі, або в межах контролю, показники вмісту білка в зерні обох сортів.

Застосування азотних добрив також впливало на вміст крохмалю, проте цей показник дещо зменшувався за обробки рослин амонійними добривами або у поєднанні їх із регулятором росту. Середній вміст вуглеводів становив 85,49—85,86 % залежно від застосування амонійного добрива та сорту пшениці озимої. Вміст жирів у зерні сорту Київська 19 за застосування азоту позакоренево був дещо меншим (1,29—1,31 %), ніж у контролі (1,48 %), тоді як у зерні пшениці сорту Новосмуглянка середні показники вмісту жиру знаходились в межах контрольних показників. Спостерігали обернену залежність між вмістом білка та крохмалю і жирів у зерні: кількість вуглеводів та жирів дещо знижувалася за збільшення вмісту білка.

Встановлено, що середній вміст клейковини в зерні пшениці знаходився на рівні 23,5—35,5 % залежно від сорту та варіанта обробки рослин. Застосування позакореневої обробки на посівах пшениці озимої сорту Новосмуглянка, наприклад, сульфатом амонію збільшувало вміст білка порівняно з контролем, який становив 14,39 %, клейковини — на рівні 30,0 % (табл. 7). Додавання до сульфату амонію ТЕ сприяло поліпшенню якості зерна цього сорту завдяки збільшенню в ньому вмісту білка й клейковини до 14,69 % (+3,8, %) та 30,75 % (+9,0 %) відповідно, тоді як у зерні пшениці сорту Київська 19 дані показники збільшувались до 14,30 % (+2,46 %) і 29,67 % (+5,67 %) відповідно, вище контролю. Композиція хлорид амонію + ТЕ у сорту Київська 19 забезпечувала підвищення вмісту білка в зерні на 4,9 % (16,76 %), клейковини — на 11,5 % (35,5 %), в сорту Новосмуглянка — на 4,1 % (15,0 %) та 9,75 % (31,5 %) відповідно, порівняно з контрольним варіантом без обробки. Застосування лише амонійного добрива хлориду амонію на посівах пшениці сортів Новосмуглянка та Київська 19 сприяло підвищенню вмісту білка на 0,65—2,8 %, клейковини — на 1,75—6,5 % порівняно з контролем. Варто зазначити, що вміст білка в зерні пшениці сорту

ТАБЛИЦЯ 7. Вплив трифосфату азоту на показники якості зерна пшениці озимої сорти Київська 19 (2024 р.)

Варіант	Новосмуглянка					Київська 19				
	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Клейковина, %	Вуглеводи, %	Жири, %	Маса 1000 зерен, г	Білок, %	Клейковина, %	Вуглеводи, %	Жири, %
Контроль	30,07 ^a	12,89 ^a	21,75 ^a	86,78 ^a	1,44 ^a	35,47	12,84 ^a	24,00 ^a	86,67 ^a	1,30 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га	31,98 ^b	14,39 ^b	30,00 ^b	85,05 ^a	1,57 ^a	34,46	13,84 ^b	28,88 ^b	85,03 ^a	1,14 ^a
Хлорид амонію, 1,0 кг/га	30,38 ^a	12,54 ^a	23,50 ^b	86,28 ^a	2,19 ^a	33,68	14,64 ^b	30,50 ^b	84,28 ^a	1,08 ^a
Мофос, 0,6 л/га	30,71 ^a	14,33 ^b	30,00 ^b	84,04 ^a	1,64 ^a	34,08	13,25 ^b	27,33 ^b	85,47 ^a	1,27 ^a
Сульфат амонію, 1,0 кг/га + мофос, 0,6 л/га	31,84 ^b	14,69 ^b	30,75 ^b	84,69 ^a	1,62 ^a	33,59	14,30 ^b	29,67 ^b	84,55 ^a	1,15 ^a
Хлорид амонію, 1,0 кг/га + мофос, 0,6 л/га	30,61 ^a	15,00 ^b	31,50 ^b	84,49 ^a	1,51 ^a	31,72	14,76 ^b	35,50 ^b	83,54 ^a	1,11 ^a
ІНР _{0,05}	0,95	0,27	2,97	1,44	0,19	1,02	0,29	2,09	1,77	0,19

Новосмуглянка в контрольному варіанті був на рівні майже 10,9 %, клейковини — 21,75 %, тоді як у зерні сорту Київська 19 — 11,84 % і 24,00 % відповідно (табл. 7). У варіантах із підвищеним вмістом білка та клейковини в зерні, як і в попередньому сезоні, також відзначали певне зниження вмісту вуглеводів і жирів. Пшениця озима сортів Київська 19 та Новосмуглянка за обробки ТЕ містила в зерні на 1,41—3,44 % більше білка, клейковини — майже на 3,3—8,3 % відповідно, порівняно з контролем без обробки.

Зерно пшениці озимої, яке містить не менше 14 % білка і 28 % клейковини належить до групи А 1 класу якості, тоді як до групи А 2 класу — з вмістом білка 12,5 % і клейковини 23,0 %, згідно з вимогами ДСТУ 3768:2019 [52]. Таким чином, зерно пшениці озимої з вмістом білка понад 14 % (14,3—14,7 %) і (15,0—16,7 %) та сирої клейковини понад 28 % (29,6—30,7 %) і (31,5—35,5 %), яке за якістю відповідає групі А 1 класу, отримано за обробки рослин амонійними добривами у поєднанні з ТЕ у сортів Новосмуглянка і Київська 19. Вміст білка у зерні пшениці сорту Київська 19 за обробки рослин сульфатом амонію і хлоридом амонію окремо становив 13,8 і 14,6 %, клейковини — 28,8 і 30,5 %, порівняно з контролем. У зерні сорту Новосмуглянка за обробки посівів сульфатом амонію вміст білка був на рівні майже 14,4 %, клейковини — 30,0 %, тоді як за використання хлориду амонію вміст білка і клейковини були дещо нижчими (11,5 і 23,5 %, відповід-

но, А 2 клас). За даними нашого дослідження найвищий вміст білка і клейковини пшениці м'якої озимої спостерігався при застосуванні комбінації амонійних добрив із додаванням ретарданту.

Таким чином, позакоренева обробка азотними добривами, амонійними зокрема, та у композиціях з ретардантом ТЕ класу циклогександіонів може бути використана для подовження вегетації (stay-green) й відповідного підвищення продуктивності пшениці озимої за обмежених рівнів мінерального живлення, а також для покращення якості зерна. Визначення показників NDVI посіву дає змогу встановити відмінності у розвитку рослин за дії позакореневого внесення добрив з ретардантом, визначити ефективність агротехнологічних заходів і прогнозувати рівні урожайності пшениці озимої.

REFERENCES

1. Morgun, V.V., Schwartau, V.V. & Kiriziy, D.A. (2010). Physiological bases for the formation of high productivity of cereal crops. *Physiol. Biochem. Cult. Plants*, 42, No. 5, pp. 371-392 [in Russian].
2. Morgun, V.V., Schwartau, V.V., Konovalov, D.V., Mykhalska, L.M., Skryplov, V.O. (2022). Klub 100 tsentneriv. Advanced varieties and systems of nutrition and protection of winter wheat. Edition XI. Kyiv: Vistka [in Ukrainian].
3. Skudra, I. & Ruza, A. (2016). Winter wheat grain baking quality depending on environmental conditions and fertilizer. *Agron. Res.*, 14, No. 2, pp. 1460-1466.
4. Litke, L., Gaile, Z. & Ruza, A. (2018). Effect of nitrogen fertilization on winter wheat yield and yield quality. *Agron. Res.*, 16, No. 2, pp. 500-509. <https://doi.org/10.15159/AR.18.064>
5. Govindasamy, P., Muthusamy, S.K., Bagavathiannan, M., Mowrer, J., Jagannadham, P.T.K., Maity, A., Halli, H.M., Sujayanad, G.K., Vadivel, R., Das, T.K., Rishi, R., Pooniya, V., Babu, S., Rathore, S.S., Muralikrishnan, L. & Tiwari, G. (2023). Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Front. Plant Sci. Sec. Plant Nutrit.*, 14, pp. 1-19.
6. Etesami, M., Biabani, A., Karizaki, A.R., Gholizadeh, A. & Sabouri, H. (2018). Nitrogen use efficiency in winter cereals under optimum nitrogen fertilizer rates. *Middle East J. Agric. Res.*, 7, No. 1, pp. 132-138.
7. Acreche, M.M. & Slafer, G.A. (2011). Lodging yield penalties as affected by breeding in mediterranean wheats. *Field Crops Res.*, 122, No. 1, pp. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.004>
8. Berry, P.M. & Spink, J. (2012). Predicting yield losses caused by lodging in wheat. *Field Crops Res.*, 137, pp. 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.01>
9. Rademacher, W. (2018). Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annu. Rev. Plant*, 49, No. 12, pp. 359-404. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0541>
10. Pricinotto, L.F., Zucareli, C., Ferreira, A.S., Spolaor, L.T. & Fonseca, I.C.B. (2019). Yield and biometric characteristics of maize submitted to plant population and trinexapac-ethyl doses. *Revista Caatinga*, 32, No. 3, pp. 667-678. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n311rc>
11. Kleczewski, N.M. & Whaley, C. (2018). Assessing the utility of the growth regulator trinexapac-ethyl and fungicides in mid-Atlantic soft red winter wheat production systems. *Crop Protection*, 104, pp. 60-64. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.011>
12. Mykhalska, L.M., Makoveychuk, T.I., Tretiakov, V.O. & Schwartau, V.V. (2023). The influence of sulfate ammonium on the retardant activity of trinexapac-ethyl on wheat. *Fiziol. rast. genet.*, 55, No. 4, pp. 355-367 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.355>
13. Pinheiro, M.G., Souza, C.A., Silva, E.R., Junior, J.F.C.C., Basilio, A.F., Bisato, M.M., Kandler, R. & Junkes, G.V. (2021). Trinexapac-ethyl as an alternative to reduce lodging

- and preserve grain yield and quality of rye. *J. Agric. Sci.*, 13, No. 1, pp. 62-72. <https://doi.org/10.5539/jas.v13n1p62>
14. Koch, F., Aisenberg, G.R., Monteiro, M.A., Pedy, T., Zimmer, P.D., Villela, F.A. & Aumonde, T.Z. (2017). Growth of wheat plants submitted to the application of the growth regulator trinexapac-ethyl and vigor of the produced seeds. *Agrociencia Uruguay*, 21, No. 1, e167. <https://doi.org/10.31285/agro.21.1.4>
 15. Swoish, M., Da Cunha Leme Filho, J.F., Reiter, M., Stewart, R. & Thomason, W. (2021). Trinexapac-ethyl rate and timing impact on malt barley production in Virginia. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 7, e20101.
 16. Matysiak, K. (2006). Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. *J. Plant Protect. Res.*, 46, pp. 133-143.
 17. Zagonel, J., Venancio, W.S. & Kunz, R.P. (2002). Effect of growth regulator on wheat crop under different nitrogen rates and plant densities. *Planta Daninha*, 20, pp. 471-476. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000300019>
 18. Fernandes, C.H.S., Arruda, K.M.A., Tejo, D.P. & Zucareli, C. (2023). Agronomic traits of white oat treated with the growth regulator trinexapac-ethyl. *Rev. Ceres.*, 70, No. 2, pp. 91-100. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370020011>
 19. Rokhafrooz, K., Emam, Y. & Pirasteh-Anosheh, H. (2016). The effect of chlormequat chloride on yield and components of three wheat cultivars under drought stress conditions. *J. Crop Product. Proc.*, 6, No. 20, pp. 111-123. <https://doi.org/10.18869/acad-pub.jcpp.6.20.111>
 20. Espindula, M.C., Rocha, V.S., Grossi, J.A.S., Souza, M.A., Souza, L.T. & Favarato, L.F. (2009). Use of growth retardants in wheat. *Planta Daninha*, 27, No. 2, pp. 379-387. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000200022>
 21. de Faria, L.P., Silva, S.R. & Lollato, R.P. (2022). Nitrogen and trinexapac-ethyl effects on wheat grain yield, lodging and seed physiological quality in southern Brazil. *Exp. Agric.*, 58, e21. <https://doi.org/10.1017/S0014479722000217>
 22. Fiorentini, M., Zenobi, S., Giorgini, E., Basili, D., Conti, C., Pro, C., Monaci, E. & Orsini, R. (2019). Nitrogen and chlorophyll status determination in durum wheat as influenced by fertilization and soil management: Preliminary results. *PLoS One*, 14, No. 11, e0225126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225126>
 23. Gitelson, A.A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *J. Plant Physiol.*, 161, No. 2, pp. 165-173. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01176>
 24. Xue, J. & Su, B. (2017). Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *J. Sensors*. 1353691. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
 25. Zozulya, O.L., Schwartau, V.V., Mykhalska, L.M., Kovel, O.L., Hnatiienko, H.M., Snytiuk, V.I., Domrachev, V.M. & Tmienova, N.P. (2023). Modern methods of digital monitoring in crop production. Kyiv [in Ukrainian].
 26. Zhang, J., Liu, X., Liang, Y., Cao, Q., Tian, Y., Zhu, Y., Cao, W. & Liu, X. (2019). Using a portable active sensor to monitor growth parameters and predict grain yield of winter wheat. *Sensors*, 19, No. 5. Article 1108. <https://doi.org/10.3390/s19051108>
 27. Ali, A.M., Ibrahim, S.M. & Bijay-Singh. (2020). Wheat grain yield and nitrogen uptake prediction using atLeaf and GreenSeeker portable optical sensors at jointing growth stage. *Inform. Proc. Agricult.*, 7, No. 3, pp. 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.008>
 28. Walsh, O.S., Marshall, J., Jackson, Ch., Nambi, E., Shafian, S., Jayawardena, D.M., Lamichhane, R., Ansah, E.O. & McClintick-Chess, J.R. (2022). Wheat yield and protein estimation with handheld- and UAV-based reflectance measurements. *Agrosyst., Geosci. & Environ.*, 7, No. 4, e20309. <https://doi.org/10.1002/agg2.20309>
 29. Zsebő, S., Bede, L., Kukorelli, G., Kulmány, I. M., Milics, G., Stencinger, D., Teschner, G., Varga, Z., Vona, V. & Kovács, A. J. (2024). Yield prediction using NDVI values from gGreenSeeker and MicaSense cameras at different stages of winter wheat phenology. *Drones*, 8, No. 3, 88. <https://doi.org/10.3390/drones8030088>
 30. Wu, X., Xu, Q., Niu, Q., Xing, W., Hou, C., Shao, H. (2023). Study on the determination of 14 heavy metals in the soil by ICP-MS with microwave Digestion. In: Zhang, J., Ruan, R., Bashir, M.J.K. (eds) *Environmental pollution governance and ecological*

- remediation technology. ICEPG 2022. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25284-6_15
31. Fatiev, A.I. & Pashchenko, Ya.V. (Eds.). (2003). Background content of trace elements in the soils of Ukraine. Kharkiv: NSC ISSAR Sokolovskogo [in Ukrainian].
 32. Ling, Q., Weihua, H. & Jarvis, P. (2011). Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynth. Res.*, 107, pp. 209-214. <https://doi.org/10.1007/s11120-010-9606-0>
 33. Kirizii, D.A., Shadchyna, T.M., Stasyk, O.O., Priadkina, H.O., Sokolovska-Serhiienko, O.H., Huliaiev, B.I., Sytnyk, S.K. (2011). Peculiarities of photosynthesis and production process in high-intensity genotypes of winter wheat. Kyiv: Osnova [in Ukrainian].
 34. Simkin, A.J., Kapoor, L., Doss, C.G.P., Hofmann, T.A., Lawson, T. & Ramamoorthy, S. (2022). The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. *Photosynth. Res.*, 152, No. 1, pp. 23-42. <https://doi.org/10.1007/s11120-021-00892-6>
 35. Jaenisch, B.R., Wilson, T., Nelson, N.O., Guttieri, M. & Lollato, R.P. (2020). Wheat grain yield and protein concentration response to nitrogen and sulfur rates. *Kansas Agric. Exper. Station Res. Rep.*, 6, No. 9. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7973>
 36. Györi, Z. (2005). Sulphur content of winter wheat grain in long term field experiments. *Commun Soil Sci. Plant Anal.*, 36, No. 1–3, pp. 373-382. <https://doi.org/10.1081/CSS-200043098>
 37. Järvan, M., Edesi, L. & Adamson, A. (2012). Effect of sulphur fertilization on grain yield and yield components of winter wheat. *Acta Agric. Scand., Section B — Soil & Plant Sci.*, 62, No. 5, pp. 401-409. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.630677>
 38. Salih, Zh.R., Mohammad, M.K. & Sabir, T.Z. (2016). Effect of foliar and soil application of sulfur on growth, yield, and photosynthetic pigments of the wheat plant. *J. Raparin Univ.*, 3, No. 6, pp. 79-86.
 39. Terry, N. (1977). Photosynthesis, growth, and the role of chloride. *Plant Physiol.*, 60, No. 1, pp. 9-75. <https://doi.org/10.1104/pp.60.1.69>
 40. Schwartz, V.V., Mykhalska, L.M., Makoveychuk, T.I. & Tretiakov, V.O. Chlorine in plant life. *Biosyst. Divers.*, 2024, 32, No. 4, pp. 451-475. <https://doi.org/10.15421/012448>
 41. Espindula, M.C., Rocha, V.C., Fontes, P.S.R. & Silva, L.T. (2009). Effect of nitrogen and trinexapac-ethyl rates on the SPAD index of wheat leaves. *J. Plant Nutr.*, 32, pp. 1956-1964.
 42. Subedi, M., Karimi, R., Wang, Z., Graf, R.J., Mohr, R.M., O'Donovan, J.T., Brandt, S. & Beres, B.L. (2021). Winter cereal responses to dose and application timing of trinexapac-ethyl. *Crop Sci.*, 61, No. 4, pp. 2722-2732. <https://doi.org/10.1002/csc2.20472>
 43. Lv, X., Ding, Y., Long, M., Liang, W., Gu, X., Liu, Y. & Wen, X. (2021). Effect of foliar application of various nitrogen forms on starch accumulation and grain filling of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Front. Plant Sci.*, 12, 645379. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.64537>
 44. Bârdaş, M., Rusu, T., Popa, A., Russu, F., Şimon, A., Cheţan, F., Racz, I., Popescu, S. & Topan, C. (2024). Effect of foliar fertilization on the physiological parameters, yield and quality indices of the winter wheat. *Agronomy*, 14, No. 1, p. 73. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010073>
 45. Schippers, J.H.M., Schmidt, R., Wagstaff, C. & Jing, H.-C. (2015). Living to die and dying to live: the survival strategy behind leaf senescence. *Plant Physiol.*, 169, No. 2, pp. 914-930.
 46. Pricinotto, L.F., Zucareli, C., Fonseca, I.C.B., Oliveira, M.A., Ferreira, A.S. & Spolaor, L.T. (2015). Trinexapac-ethyl in the vegetative and reproductive performance of corn. *Afr. J. Agric. Res.*, 10, No. 14, pp. 1735-1742. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.8613>
 47. Beasley, J.S., Branham, B.E. & Ortiz-Ribbing, L.M. (2005). Trinexapac-ethyl affects Kentucky bluegrass root architecture. *HortSci.*, 40, pp. 1539-1542.
 48. Harasim, E., Weselowski, M., Kwiatkowski, C., Harasim, P., Staniak, M. & Feledyn-Szewczyk, B. (2016). The contribution of yield components in determining the productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agrobot.*, 69, No. 3, p. 1675.

49. Protic, R., Todorocoč, G., Protič, N., Kostić, M.B., Delić, D., Filipović, M., Filipovic, V. & Ugrenović, V. (2013). Variation of grain weight per spike of wheat depending on variety and seed size. *Rom. Agric. Res.*, 30, pp. 51-55.
50. Makoveychuk, T.I., Mykhalska, L.M. & Schwartau, V.V. (2018). Influence of retardants — derivatives of cyclohexanediones on the productivity of winter wheat. *Fiziol. rast. genet.*, 50, No. 6, pp. 499-507 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2018.06.499>
51. Cigel, C., Souza, C.A., Roskamp, G.P.B., Drösemeyer, G.K. & Oliveira, L.G. (2023). Efficacy of growth regulators in a lodging-sensitive wheat cultivar: grain yield, crop economic profitability and flour industrial quality. *Aust. J. Crop Sci.*, 17, No. 1, pp. 37-43. <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.01.p3723>
52. DSTU 3768:2019. (2019). Wheat. Technical conditions. Kyiv: DP «UkrNDNTS» URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82765 [in Ukrainian].

Received 26.12.2024

THE EFFECT OF AMMONIUM AND TRINEXAPAC-ETHYL ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS AND PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT

L.M. Mykhalska¹, T.I. Makoveychuk¹, V.O. Tretiakov¹, O.L. Zozulya², V.V. Schwartau¹

¹Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylykivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

²Syngenta Ukraine

120/4 Kozatska St., Kyiv, 03022

e-mail: Mykhalskaya_L@ukr.net

In wheat crops, lodging control and nitrogen supply to plants during the growing season are components of productivity formation. In the field conditions of 2023–2024, the effect of ammonium in the form of sulfate and chloride and the retardant trinexapac-ethyl (TE) on the photosynthetic apparatus and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties Novosmuglianka and Kyivska 19 was determined. The plants were treated once in the stage of BBCH 37. Under the foliar treatment of winter wheat crops with ammonium fertilizers + TE in the flag leaves of Novosmuglyanka and Kyivska 19 varieties in the booting, the chlorophyll content increased by 7.1–9.9 %, to 47.9–54.1 conventional units of SPAD. A similar trend was observed during further observations during the growing season: in the flag leaves of wheat plants of both varieties treated with the composition of retardant + ammonium fertilizer, the chlorophyll content was 4.4–15.2 % higher in the flowering stage and 3.6–18.6 % higher in the milky ripeness stage compared to the control. In the absence of crop lodging, the use of TE separately and in combination with ammonium fertilizers preserved the content of photosynthetic pigments in the lower tiers, in particular, in the leaves of the 3rd tier. In plants of wheat variety Kyivska 19, in the stage BBCN51, these leaves retained the chlorophyll content in the range of 44.6–45.2 units SPAD, which was almost twice higher than that of the untreated variant. It was found that the NDVI of Kyivska 19 crops was in the range of 0.78–0.81 during the period of BBCH 51–59, and Novosmuglyanka — 0.77–0.82. The highest level of NDVI 0.82 was observed in Novosmuglyanka variety under treatment with ammonium sulfate + TE, which corresponded to a yield of 117.5–118.0 c/ha (8.8–9.2 % more than in the control). The use of ammonium sulfate increased the weight of 1000 grains by 20.7 % (+9.9 g) in winter wheat of Kyivska 19 variety, while in Novosmuglianka variety the index remained at the level of the control. In 2023, the treatment of Kyivska 19 wheat with ammonium chloride + TE contributed to an increase in the weight of 1000 grains by 15.2 % (+7.3 g); with ammonium chloride — by 21.7 % (+10.4 g), in Novosmuglianka — by 13 % (+5.7 g) compared to the untreated control. The use of TE in a composition with ammonium sulfate in 2024 on winter wheat varieties Kyivska 19 and Novosmuglianka contributed to an increase in yield by 5.2–23.0 % (+5.0–20.0 c/ha) compared to the control, due to an increase in the number and weight of grains per ear. Protein content in winter wheat grain was at the level of 12.59–13.24 %, gluten content was 26.00–27.50 %, depending on the nitrogen fertilizers used, while in 2024 these

indices were 14.30—16.76 % and 23.5—35.5 %, respectively, depending on the variety and plant treatment. In variants with a high content of protein and gluten in the grain, as in the previous season, a certain decrease in the content of carbohydrates and fats was also noted. Thus, foliar treatment with ammonium nitrogen fertilizers and in compositions with TE can be used to extend the vegetation/stay-green and increase the productivity of winter wheat at limited levels of mineral nutrition, as well as to improve grain quality.

Key words: *Triticum aestivum* L., ammonium foliar nutrition, ammonium sulfate, ammonium chloride, trinexapac-ethyl, SPAD index, NDVI, productivity.

ORCID

МИХАЛЬСЬКА Л.М. — L.M. Mykhalska <https://orcid.org/0000-0002-0677-5574>

МАКОВЕЙЧУК Т.І. — T.I. Makoveychuk <https://orcid.org/0000-0001-6950-0239>

ТРЕТЯКОВ В.О. — V.O. Tretiakov <https://orcid.org/0000-0002-1047-095X>

ЗОЗУЛЯ О.Л. — O.L. Zozulya <https://orcid.org/0000-0003-3500-3423>

ШВАРТАУ В.В. — V.V. Schwartau <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>