

<https://doi.org/10.15407/frg2025.06.521>

УДК 581.131:633.11

ВМІСТ АЗОТУ В СУХІЙ РЕЧОВИНІ ТА ПАРАМЕТРИ ЙОГО РЕУТИЛІЗАЦІЇ В ПРОЦЕСІ НАЛИВАННЯ ЗЕРНА В РІЗНИХ СОРТІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

І.М. ШЕГЕДА¹, Н.В. САНДЕЦЬКА¹, А.П. ІВАНИЦЬКА², Д.А. КІРІЗІЙ¹

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

e-mail: igor.shegeda@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин
03041 Київ, вул. Горіхуватський шлях, 15

У польовому досліді із сортами озимої м'якої пшениці Білява, Богдана, Бунчук, Джамала, Донор київський, Єдність, Здоба київська, Київська 19, Куяльник, Наталка, Подолянка, Смуглянка, Фаворитка, Чорноброва, Чорнозерна досліджували генотипні особливості накопичення азоту в частинах пагона рослин і його реутилізації в зерно. Показано, що маса частин пагона й елементів колоса протягом дозрівання змінювалась у різних сортів неоднаково, що свідчить про сортові відмінності відтоку поживних речовин у зерно. Виявлено зменшення маси листків, стебел і елементів колоса у фазу повної стиглості порівняно з фазою цвітіння, різницю за вмістом загального азоту по органах і залежно від сорту. Серед досліджених сортів у фазу цвітіння найбільший вміст загального азоту у листках був у сорту Київська 19, у стеблах — у Чорнобрової, а в колосках — у сорту Фаворитка. У фазу повної стиглості найвищими показниками азоту в зерні характеризувалися сорти Донор київський і Наталка. Виявлено зменшення кількості азоту в вегетативних частинах пагона у процесі наливання зерна та встановлено кореляційний зв'язок між різницею кількості азоту в усьому пагоні в період цвітіння і в його вегетативній масі за повної стиглості та кількістю цього елемента в зерні з усього колоса. У більшості досліджених сортів коефіцієнт реутилізації азоту (K_p) з листків був найвищим порівняно з іншими частинами пагона. У сортів Білява та Куяльник K_p з листків і стебел був майже однаковим і помітно перевищував цей показник для елементів колоса. Показник реутилізації азоту в зерно був найбільшим у рослин сорту Чорноброва (0,94), найменшим — у рослин сортів Білява (0,59) та Богдана (0,60). Його низьке значення у двох останніх сортів можна пояснити тим, що близько 60 % пулу азоту зерна в них постачалося з пагона, а решта надходила за рахунок поглинання азоту з ґрунту після цвітіння. Досліджені сорти також мали генотипні відмінності за внеском окремих органів у накопичення азоту в зерні.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., озима пшениця, азот, реутилізація.

Ключовим елементом формування врожаю сільськогосподарських культур є азот, із накопиченням якого у тканинах рослин тісно по-

Цитування: Шегеда І.М., Сандецька Н.В., Іваницька А.П., Кірізій Д.А. Вміст азоту в сухій речовині та параметри його реутилізації в процесі наливання зерна в різних сортів озимої пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 6. С. 521—531. <https://doi.org/10.15407/frg2025.06.521>

в'язані приріст біомаси та об'єм споживання більшості інших елементів мінерального живлення [1, 2]. Азот входить до складу усіх білків і амінокислот, нуклеїнових кислот, алкалоїдів, фосфатидів, багатьох вітамінів, глюкозидів, гормонів та інших біологічно активних сполук, без яких неможливе існування живих організмів. Водночас цей елемент є складовою частиною пірольних кілець порфіринових ядер молекул хлорофілу — найважливішого пігменту фотосинтетичного апарату, визначального для продукційного процесу рослин.

Вагома роль у продовольчому балансі належить пшениці, яка забезпечує 20 % калорій і протеїну, що споживається людством [3]. В Україні озима пшениця є найважливішою продовольчою та фуражною культурою і вагомою складовою експорту [4]. Тому проблеми її азотного живлення є одним із першорядних питань, оскільки від цього елемента залежить як продуктивність, так і повнота реалізації генетичного потенціалу ознаки білковості зерна [5, 6]. Вміст азоту в рослинах пшениці залежить від сортових особливостей, ґрунтово-кліматичних умов, дози і виду добрив та інших чинників. Він слугує підґрунтям щодо коригування їх азотного живлення та розрахунку доз внесення азотних добрив для формування високих врожаїв [7, 8].

Відомо, що в період наливання зерна після цвітіння в рослинах пшениці відбувається реутилізація азоту з вегетативних органів у зернівки і накопичення його в складі запасних білків [9, 10]. У сухій речовині соломи вміст азоту значно менший, ніж в період колосіння—цвітіння, що свідчить про переміщення його під час формування врожаю з вегетативних у генеративні органи [11].

Відтік пластичних речовин з вегетативних органів може бути істотним доповненням для формування репродуктивних органів у тому випадку, якщо протягом вегетації рослини були забезпечені необхідною кількістю основних елементів живлення [12]. За зменшеного рівня азотного живлення урожайність зерна формується за рахунок відтоку азотистих речовин з вегетативної маси, що є недостатнім для одержання зерна з високим вмістом білка. В літературі зазначається, що оцінка генетичного потенціалу культур за обмежених ресурсів, таких як лімітоване постачання азоту, дасть можливість ідентифікувати азот-ефективні лінії з покращеною ефективністю використання азоту та потенціалом урожайності [6].

Абсолютні показники нагромадження азоту в зерні за рахунок різних джерел залежать від багатьох чинників зовнішнього середовища, особливо від умов живлення та наявності в ґрунті вологи. Якщо дефіцит азоту в ранньовесняний період призводить до зниження врожаю, то нестача його в період наливання зерна — до зниження якості зерна внаслідок недостатнього нагромадження білка [13]. Засвоївши ще до початку колосіння понад двох третин необхідної кількості азоту, у період цвітіння рослини майже перестають його споживати, а на початку формування зерна потреба пшениці в цьому елементі живлення знову збільшується, і він витрачається в основному на формування якості зерна [14]. На стадії зрілості азот, реутилізований з вегетативних органів, може забезпечувати накопичення 80—90 % загального азоту зерна [15, 16].

Показано, що сорти озимої пшениці різняться за внеском азоту, що мобілізується з пагона, у його накопичення в зерні, очевидно внаслідок різної здатності до його поглинання з ґрунту після цвітіння [17]. До того ж цей параметр може змінюватись в досить широких межах і досягати 50 % за умови достатнього забезпечення рослин азотом ґрунту під час наливання зерна. За оптимальних умов мінерального живлення ефективність реутилізації азоту з вегетативних частин пагона підвищується [18, 19].

Отже, ефективність використання депонованих у стеблі асимілятів та азотовмісних сполук із листків є важливими фізіологічними складовими продукційного процесу пшениці, оскільки значуще корелюють із найважливішими господарсько-цінними ознаками цієї культури — зерновою продуктивністю і вмістом білка в зерні.

Метою нашої роботи було дослідити особливості розподілу маси сухої речовини між органами рослин та вміст у ній азоту в різних сортів озимої пшениці, а також оцінити генотипну варіабельність внеску реутилізації азоту з цілого пагона та окремих його частин у формування вмісту цього елемента в зерні.

Методика

У дослідження було залучено 15 сортів озимої м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.): Білява, Богдана, Бунчук, Джамала, Донор київський, Єдність, Здоба київська, Київська 19, Куяльник, Наталка, Подолянка, Смуглянка, Фаворитка, Чорноброва, Чернозерна. Рослини вирощували на дослідних ділянках ДСВ ІФРГ НАН України (с. Глеваха Київської області). Для забезпечення необхідної точності дослідні ділянки розмішували в полях, вирівняних за рельєфом і родючістю. Площа облікової ділянки становила 10 м². Фон мінерального живлення — N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀.

У фазу цвітіння і після досягнення повної стиглості зерна відбирали зразки (по 20 рослин) для визначення маси сухої речовини окремих органів головного пагона (листки, стебло, колос) і вмісту в ній загального азоту. У фазу цвітіння визначали масу сухої речовини цілого колоса, за повної стиглості — окремо масу незернових елементів (стрижень, колоскові луски) і окремо зерна. Вміст загального азоту визначали в усередненій пробі у триразовій повторності за методом К'ельдаля зі спалюванням за методом Починка.

За відносним вмістом азоту (% сухої речовини) та масою органів розраховували валові кількості азоту в окремих частинах головного пагона рослин пшениці в період цвітіння та за повної стиглості за формулою

$$N_B = N_{\%} m/100,$$

де N_B — валова кількість азоту, мг; N_% — вміст азоту в сухій речовині, %; m — маса сухої речовини частини пагона рослини, мг.

За валовими кількостями азоту обчислювали коефіцієнти реутилізації цього елемента в період наливання зерна за формулами

$$K_p = (N_{II} - N_{I})/N_{II},$$

$$K_{pz} = (N_{\text{ц}} - N_{\text{п}})/N_3,$$

де K_p — коефіцієнт реутилізації, що відповідає частці азоту, який містився у вегетативних частинах пагона та колоскових лусках і відтік із них у процесі наливання зерна; K_{pz} — коефіцієнт реутилізації, що показує, яка частка азоту, що міститься в зерні, надійшла до нього з вегетативних частин пагона та колоскових лусок; $N_{\text{ц}}$ — маса азоту в цілому пагоні чи його частині в період цвітіння, мг; $N_{\text{п}}$ — маса азоту в вегетативних частинах пагона та полові за повної стиглості, мг; N_3 — маса азоту в зерні з усього колоса, мг.

Отримані дані оброблені статистично за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel. Застосовували однофакторний дисперсійний аналіз із використанням ANOVA та критерію достовірних відмінностей Стьюдента. Відмінності між варіантами вважали достовірними за $p < 0,05$. На рисунках наведено середні значення коефіцієнтів реутилізації та їхні стандартні похибки ($x \pm SE$), в таблицях — середні значення маси сухої речовини і вмісту в ній азоту та найменша істотна різниця (НІР) між сортами за цими показниками.

Результати та обговорення

За масою абсолютно сухої речовини органів головного пагона рослин пшениці спостерігалися значні генотипні відмінності (табл. 1). У фазу цвітіння максимальна маса листків була в рослин сорту Джамала, а найбільша маса стебла та колоса — у сорту Богдана. У фазу повної

ТАБЛИЦЯ 1. Маса абсолютно сухої речовини (г) частин головного пагона рослин пшениці різних сортів

Сорт	Цвітіння			Повна стиглість			
	Листки	Стебло	Колос	Листки	Стебло	Полова	Зерно
Білява	0,48	2,92	1,12	0,3	1,29	1,15	1,58
Богдана	0,85	4	1,47	0,3	1,38	1,27	2,25
Бунчук	0,92	3,69	1,02	0,19	0,98	1,24	1,81
Джамала	1,01	3,22	1,06	0,29	1,6	1,09	1,8
Донор київський	0,62	1,71	0,92	0,26	1,26	1,08	1,37
Єдність	0,91	2,31	1,3	0,26	1,47	1,09	2,06
Здоба київська	0,42	1,65	0,85	0,29	1,37	1,11	1,38
Київська 19	0,53	2,14	0,83	0,42	1,43	0,96	2,47
Куяльник	0,68	2,67	1,05	0,26	1,03	1,16	2,63
Наталка	0,37	2,09	0,89	0,16	1,4	1,24	1,85
Подольанка	0,47	1,76	0,86	0,17	1,14	0,89	1,82
Смуглянка	0,54	1,75	0,81	0,3	0,83	1,05	1,99
Фаворитка	0,64	2,2	0,94	0,36	1,21	1,21	2,6
Чорноброва	0,71	2,15	1,09	0,39	1,26	1,28	2,41
Чорнозерна	0,61	1,67	0,98	0,53	1,49	1,8	1,59
НІР _{0,05}	0,04	0,15	0,04	0,02	0,04	0,04	0,08

стиглості маса листків і стебел зменшилася, а елементів колоса — збільшилася порівняно з фазою цвітіння. Максимальна маса листків і стебел у цей період була в рослин сорту Чорнозерна, найбільша маса незернових елементів колоса (полови) спостерігалась у сорту Чорноброва, а зерна — в сорту Куяльник. Така різниця максимальної маси частин пагона й елементів колоса між сортами в різні фази розвитку свідчить про відмінності між ними за ефективністю відтоку поживних речовин у зерно.

У фазу цвітіння найбільший вміст загального азоту по органах виявлений у листках, а найменші значення цього показника — у стеблах (табл. 2). Вміст азоту в частинах головного пагона варіював залежно від сорту. Найбільший вміст цього елемента в листках спостерігався у сорту Київська 19, у стеблах — у сорту Чорноброва, а в колосах — у сорту Фаворитка. Впродовж дозрівання вміст азоту в листках і стеблах зменшився в 2—4 рази (залежно від генотипу) внаслідок його відтоку в зерно. Найвищими показниками азоту в зерні характеризувалися сорти Донор київський і Наталка.

За значеннями маси сухої речовини окремих частин пагона та вмісту в ній азоту було розраховано валову кількість цього елемента по органах та в усьому пагоні в період цвітіння та за повної стиглості, а також у зерні з усього колоса (табл. 3). Показано, що кількість азоту у вегетативних частинах пагона в процесі наливання зерна зменшується у кілька разів внаслідок його реутилізації. Виявлено досить тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,81$) між різницею кількості азоту

ТАБЛИЦЯ 2. Вміст загального азоту (% абсолютно сухої речовини) в частинах головного пагона рослин пшениці різних сортів

Сорт	Цвітіння			Повна стиглість			
	Листки	Стебло	Колос	Листки	Стебло	Полова	Зерно
Білява	1,63	0,46	1,02	0,74	0,31	0,55	2,15
Богдана	1,7	0,4	1,11	0,82	0,27	0,74	2,3
Бунчук	1,36	0,38	0,9	0,64	0,41	0,31	1,95
Джамала	1,46	0,54	1,5	0,92	0,34	0,72	2,36
Донор київський	1,94	0,66	1,35	0,73	0,28	0,71	2,68
Єдність	1,51	0,74	1,04	0,95	0,29	0,59	2,11
Здоба київська	2,6	0,72	1,83	0,85	0,3	0,72	2,45
Київська 19	3,37	0,8	1,88	0,86	0,33	0,78	2,23
Куяльник	2,81	0,75	1,9	0,96	0,32	0,53	2,16
Наталка	2,95	0,74	2	0,89	0,28	0,63	2,58
Подольанка	3,02	0,8	1,76	0,88	0,29	0,77	2,12
Смуглянка	2,73	0,8	1,89	0,68	0,36	0,45	2,13
Фаворитка	3,19	0,9	1,92	0,82	0,35	0,62	1,94
Чорноброва	2,77	0,99	1,86	0,62	0,36	0,45	2,14
Чорнозерна	2,46	0,88	1,85	0,76	0,39	0,53	2,31
НІР _{0,05}	0,14	0,04	0,08	0,02	0,01	0,03	0,04

ТАБЛИЦЯ 3. Валова кількість загальною азоту (мг) в частинах та цілому головному пагоні рослин пшениці різних сортів

Сорт	Цвітіння				Повна стиглість				
	Листки	Стебло	Колос	Пагін	Листки	Стебло	Полова	Пагін	Зерно
Білява	7,82	13,43	11,42	32,68	2,22	4	6,32	12,54	33,97
Богдана	14,45	16	16,32	46,77	2,46	3,73	9,39	15,58	51,75
Бунчук	12,51	14,02	9,18	35,71	1,22	4,02	3,84	9,08	35,3
Джамала	14,75	17,39	15,9	48,03	2,67	5,44	7,85	15,96	42,48
Донор кийвський	12,03	11,29	12,42	35,73	1,9	3,53	7,67	13,09	36,72
Єдність	13,74	17,09	13,52	44,35	2,47	4,26	6,43	13,16	43,47
Здоба кийвська	10,92	11,88	15,56	38,36	2,47	4,11	7,99	14,57	33,81
Кийвська 19	17,86	17,12	15,6	50,58	3,61	4,72	7,49	15,82	55,08
Куяльник	19,11	20,02	19,95	59,08	2,5	3,29	6,15	11,94	56,81
Наталка	10,91	15,47	16,6	42,98	1,42	3,92	7,81	13,15	47,73
Подольнка	14,19	14,08	15,14	43,41	1,5	3,31	6,85	11,66	38,58
Смуглянка	14,74	14	15,31	44,05	2,04	2,99	4,72	9,75	42,39
Фаворитка	20,42	19,8	18,05	58,26	2,95	4,24	7,5	14,69	50,44
Чорноброва	19,67	21,29	20,27	61,23	2,42	4,54	5,76	12,71	51,57
Чорнозерна	15	14,7	18,13	47,83	4,03	5,81	9,54	19,38	36,73
НІР _{0,05}	0,72	0,6	0,61	1,75	0,15	0,16	0,31	0,52	1,6

в усьому пагоні в період цвітіння і в його вегетативній масі за повної стиглості та кількістю цього елемента в зерні з усього колоса (рис. 1, а). При цьому на загальному фоні виділяються точки, що відносяться до сортів Богдана, Кийвська 19 і Наталка, які за помірної кількості реутилізованого з пагону азоту відповідають високим рівням накопичення цього елемента в зерні. Якщо виключити ці точки, то кореляція стає майже функціональною ($r = 0,95$) (рис. 1, б). Тобто, при за-

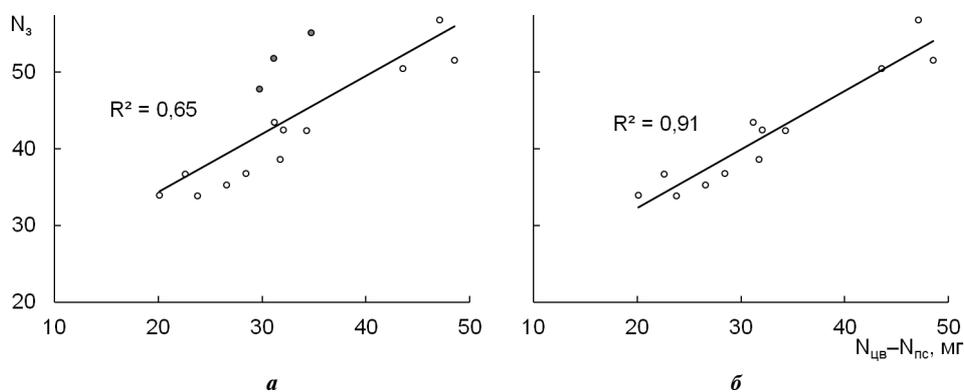


Рис. 1. Залежність між різницею кількості азоту в цілому пагоні в період цвітіння і за повної стиглості ($N_{цв} - N_{пс}$) та кількістю азоту в зерні з усього колоса ($N_з$) (а) і за виключенням точок для сортів Богдана, Кийвська 19 і Наталка (б)

гальній тенденції до підвищення накопичення азоту в зерні у зв'язку зі збільшенням його реутилізації існує міжсортowa різниця за ефективністю функціонування механізмів забезпечення зерна цим елементом. Зокрема, в літературі зазначається, що у сортів пшениці з прискореним старінням листків ефективність реутилізації азоту в зерно вища, ніж у ремонтантних генотипів [20, 21].

З метою детальнішого аналізу ефективності використання азоту, накопиченого до початку наливання зерна, ми розраховували коефіцієнти реутилізації азоту (K_p) з цілого пагона та його частин (рис. 2). У більшості досліджених сортів K_p з листків був найвищим порівняно з іншими частинами пагона. У рослин сортів Білява та Куяльник K_p з листків і стебла був майже однаковим і помітно перевищував цей показник для елементів колоса.

Для визначення безпосереднього внеску азоту, накопиченого в пагоні до періоду цвітіння, в акумуляцію цього елемента в зерні, ми розраховували коефіцієнт K_{p3} , який являє собою відношення кількості азоту, що реутилізувався з пагона після цвітіння, до кількості азоту, накопиченого в зерні з усього колоса (рис. 3). Цей показник був найбільшим у рослин сорту Чорноброва (0,94), найменшим — у рослин сортів Білява (0,59) та Богдана (0,60). Можна припустити, що низьке значення K_{p3} в цих сортів пов'язано з тим, що близько 60 % пулу азоту зерна в них постачалося з пагона, а решта надходила за рахунок поглинання азоту з ґрунту після цвітіння.

Виявлено генотипні відмінності за внеском окремих органів у накопичення азоту в зерні в різних сортів. У рослин сортів Донор київський, Подолянка та Чорнозерна був більший внесок листків, у сортів Білява та Наталка — стебла, а в інших сортів внесок листків і стебла був практично однаковим. Внесок елементів колоса у сортів Здоба київська, Смуглянка та Чорноброва був на рівні такого для інших органів, у сортів Білява та Наталка — на рівні внеску листків, у сорту Чорнозерна — на рівні стебла, у решти сортів він був менший порівняно із внеском інших частин пагона.

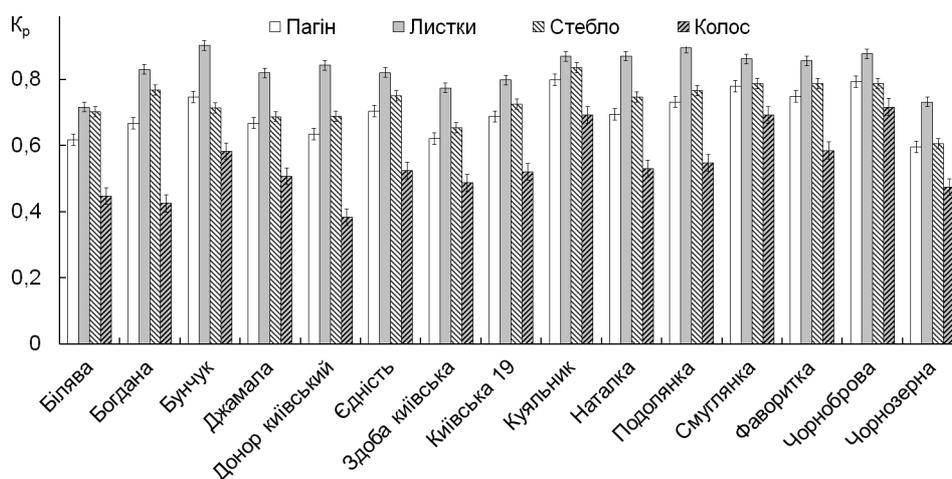


Рис. 2. Коефіцієнти реутилізації азоту з цілого пагона та його частин у процесі наливання зерна у різних сортів пшениці

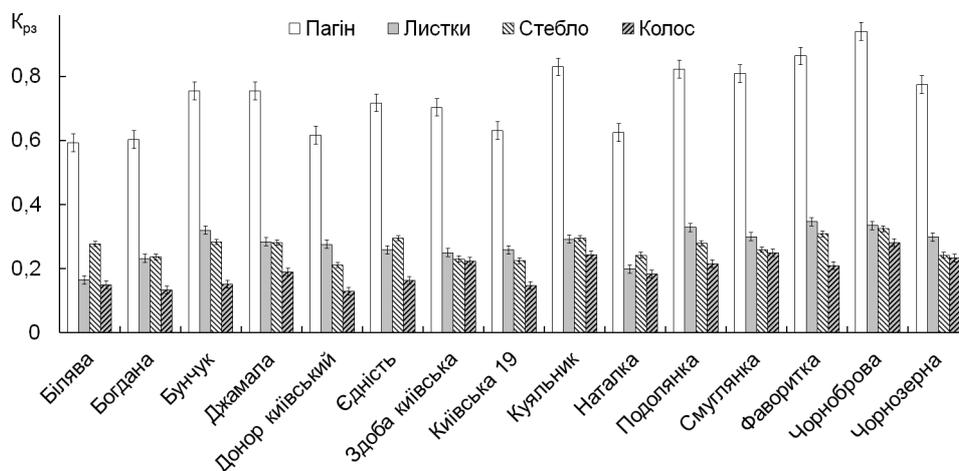


Рис. 3. Внесок азоту, накопиченого у цілому пагоні та окремих його частинах, у формування запасів цього елемента в зерні

Результати наших дослідів в цілому збігаються з даними інших авторів. Так, масштабні дослідження англо-індійської групи вчених з оцінки широкого спектра рекомбінантних інбредних ліній пшениці (195) щодо поглинання, розподілу та реутилізації азоту до зерна, його зв'язку з концентрацією білка в зерні та врожайністю також виявили значну генетичну варіабельність цих показників [6]. Ефективність реутилізації істотно корелювала з поглинанням азоту до і під час цвітіння та врожайністю зерна. Ієрархічний кластерний аналіз досліджених ліній з урахуванням ефективності реутилізації азоту та врожайності дозволив виділити чотири кластери: ефективних (31), помірно ефективних (59), помірно неефективних (58) та неефективних (47) генотипів.

Таким чином, наші дослідження показали, що провідну роль у формуванні загального пулу азоту в зерні пшениці відіграють запаси цього елемента, накопичені в пагоні до цвітіння, однак існує міжсортowa різниця за ефективністю його реутилізації з різних органів у зерно. Досліджені сорти також різнилися за внеском азоту, що реутилізувався з пагона, у загальну кількість його в зерні, що можна пояснити різною здатністю до поглинання азоту з ґрунту після цвітіння. Виявлена нами, а також іншими авторами, генетична варіабельність характеру поглинання та реутилізації азоту в рослинах пшениці є підґрунтям для використання цих ознак у селекційних програмах з метою їх поліпшення, а також мають враховуватися при вдосконаленні технологій вирощування окремих сортів.

REFERENCES

1. Hamner, K., Weih, M., Eriksson, J. & Kirchmann, H. (2017). Influence of nitrogen supply on macro- and micronutrient accumulation during growth of winter wheat. *Field Crops Res.*, 213, pp. 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.002>
2. Du, C., Liu, Y., Guo, J., Zhang, W., Xu, R., Zhou, B., Xiao, X., Zhang, Z., Gao, Z., Zhang, Y., Sun, Z., Zhou, X. & Wang, Z. (2024). Novel annual nitrogen management strategy improves crop yield and reduces greenhouse gas emissions in wheat-maize rota-

- tion systems under limited irrigation. *J. Environ. Manag.*, 353, 120236. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120236>
3. Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.J., Duveiller, E., Reynolds, M. & Muricho G. (2013). Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Sec.*, 5, pp. 291-317. <https://doi.org/10.1007/s12571-013-0263-y>
 4. Morgun, V.V. (2019). New varieties of winter wheat as a significant component of the country's grain wealth. *Fiziol. rast. genet.*, 51(4), pp. 347-354 [in Ukrainian].
 5. Schwartau, V.V. & Mykhalska, L.M. (2016). Physiological basis of high-yielded cereals nutrition. *Fiziol. rast. genet.*, 48(4), pp. 298-309 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2016.04.298>
 6. Sharma, S., Kumar, T., Foulkes, M.J., Orford, S., Singh, A.M., Wingen, L.U., Karnam, V., Nair, L.S., Mandal, P.K., Griffiths, S., Hawkesford, M.J., Shewry, P.R., Bentley, A.R. & Pandey, R. (2023). Nitrogen uptake and remobilization from pre- and post-anthesis stages contribute towards grain yield and grain protein concentration in wheat grown in limited nitrogen conditions. *CABI Agricult. Biosci.*, 4, 12. <https://doi.org/10.1186/s43170-023-00153-7>
 7. Vasylenko, N.V., Pravdziva, I.V., Blyznyuk, R.M. & Khomenko, S.O. (2019). Yield and quality of soft spring wheat varieties of Mironov selection depending on the hydrothermal conditions of the year. *Myronivskyi Visn.*, No. 9, pp. 91-97 [in Ukrainian].
 8. Zholobak, H. M., Duhin, S. S., Sybirtseva, O. M., Kazantsev, T. A. & Romanchuk, I. F. (2020). Determination of nitrogen and chlorophyll content in winter wheat plants of two varieties based on ground-based and airborne spectrometry data. *Ukr. zh. dystantsiynogo zonduvannya Zemli*, No. 25, pp. 4-13 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2020.26.178>
 9. Madani, A., Makarem, A.H. & Vazin, F. (2012). The impact of post-anthesis nitrogen and water availability on yield formation of winter wheat. *Plant Soil Envir.*, 58, No. 1, pp. 9-14. <https://doi.org/10.17221/299/2011-PSE>
 10. Kong, L., Xie, Y., Hu, L., Feng, B. & Shengdong, L. (2016). Remobilization of vegetative nitrogen to developing grain in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res.*, 196, pp. 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.015>
 11. Hospodarenko, H.M., Chernov, O.D., Lyubych, V.V. & Boyko, V.P. (2020). The assimilation of the main nutrients and mineral fertilizers by winter wheat from the soil on the asolized black soil in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Visn. agrar. nauki Prychornomorya*, No. 3, pp. 35-44 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)-5](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-5)
 12. Ma, J., Zhang, K., Fang, B., Wang, X., Wang, S., Jiang, L., Wang, Z. & Hao, B. (2025). Optimization of nitrogen allocation and remobilization improves nitrogen use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Eur. J. Agron.*, 171, 127782. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127782>
 13. Kiriziy, D.A. & Ryzhykova, P.L. (2015). Varietal peculiarities of nitrogen remobilization from the vegetative parts of wheat shoot under different levels of mineral nutrition. *Fiziol. rast. genet.*, 49, No. 1, pp. 15-24 [in Ukrainian].
 14. Tamagno, S., McClellan, T.M., van Kessela, C., Liguista, B.A., Ladhaa, J.K., Lundy, M.E., Maureirad, F. & Pittelkova, C.M. (2024). Critical assessment of nitrogen use efficiency indicators: Bridging new and old paradigms to improve sustainable nitrogen management. *Eur. J. Agron.*, 159, 127231. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127231>
 15. Barraclough, P.B., Lopez-Bellido, R. & Hawkesford, M.J. (2014). Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilization of nitrogen during grain-filling in wheat. *Field Crops Res.*, 156, pp. 242-248. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.10.004>
 16. Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Le Gouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Hubbart, S. & Foulkes, M. J. (2014). Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. *Field Crops Res.*, 155, pp. 213-223. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.09.003>

17. Sheheda, I.M., Kiriziy, D.A., Ivanytska, A.P. & Senina, L.V. (2018). Reutilization of nitrogen into grain in different wheat varieties depending on the conditions of mineral nutrition. *Visn. Khark. nats. agrar. univ., Ser. Biol.*, 44, No. 2, pp. 69-80 [in Ukrainian].
18. Bahrani, A., Abad, H., Sarvestani, T., Moafpourian, G. & Band, A. (2011). Remobilization of dry matter in wheat: Effects of nitrogen application and post-anthesis water deficit during grain filling. *New Zealand J. Crop Hortic. Sci.*, 39, pp. 279-293. <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.599397>
19. Kiriziy, D.A. & Sheheda I.M. (2019). Nitrogen distribution in the source-sink system of plants and its role in the production process. *Fiziol. rast. genet.*, 51, No. 2, pp. 114-132 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2019.02.114>
20. Asplund, L., Bergkvist, G. & Weih, M. (2015). Functional traits associated with nitrogen use efficiency in wheat. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil Plant Sci.*, 66, No. 2, pp. 153-169. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1087586>
21. Alpuerto, J.B., Brasier, K.G., Griffey, C.A., Thomason, W.E. & Fukao, T. (2021). Accelerated senescence and nitrogen remobilization in flag leaves enhance nitrogen use efficiency in soft red winter wheat. *Plant Produc. Sci.*, 24(4), pp. 490-504. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1869044>

Received 19.12.2025

NITROGEN CONTENT IN DRY MATTER AND PARAMETERS OF ITS REMOBILIZATION DURING THE GRAIN FILLING IN DIFFERENT WINTER WHEAT VARIETIES

I.M. Sheheda¹, N.V. Sandetska¹, A.P. Ivanytska², D.A. Kiriziy¹

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

²Ukrainian Institute for Plant Variety Examination
15 Horikhuvatskyi Slyakh St., Kyiv, 03041, Ukraine
e-mail: igor.shegeda@ukr.net

In a field experiment with the varieties of winter bread wheat Biliava, Bohdana, Bunchuk, Jamala, Donor Kyivskiy, Yednist, Zdobna Kyivska, Kyivska 19, Kuyalnik, Natalka, Podolianka, Smuglyanka, Favorytka, Chornobrova, Chornozerna, the genotypic peculiarities of nitrogen accumulation in parts of the plant shoot and its remobilization into grain were studied. It was shown that the dry weight of shoot parts and ear components during ripening changed differently in different varieties, which indicates varietal peculiarities in the outflow of nutrients into the grain. A decrease in the weight of leaves, stems and ear components at the stage of full ripeness compared to the flowering stage, a difference in the content of total nitrogen in organs and depending on the variety were revealed. Among the varieties studied at the flowering stage, the highest content of total nitrogen in leaves was in the Kyivska 19 variety, in stems — in Chornobrovaya, and in spikelets — in the Favorytka variety. At the stage of full ripeness, the highest nitrogen indices in grain were for the varieties Donor Kyivskiy and Natalka. A decrease in the amount of nitrogen in the vegetative parts of the shoot during the grain filling was revealed, and a correlation was established between the difference in the amount of nitrogen in the entire shoot at the flowering period and in its vegetative parts at full ripeness, and the amount of this element in the grain from the entire ear. In most of the varieties studied, the coefficient of nitrogen remobilization (K_r) from leaves was the highest compared to other parts of the shoot. In the varieties Bilyava and Kuyalnyk, K_r from leaves and stem was almost the same, and significantly exceeded this index for the ear components. The index of nitrogen remobilization to grain was the highest in plants of the Chornobrova variety (0.94), the lowest in plants of the Biliava (0.59) and Bohdana (0.60) varieties. Its low value in the last two varieties can be explained by the fact

that about 60 % of the grain nitrogen pool in them was supplied from the shoot, and the rest came due to the absorption of nitrogen from the soil after flowering. The studied varieties also had genotypic differences in the contribution of individual organs to the accumulation of nitrogen in the grain.

Key words: *Triticum aestivum* L., winter wheat, nitrogen, remobilization.

ORCID

І.М. ШЕГЕДА — I.M. Sheheda <https://orcid.org/0009-0000-9115-2867>

Н.В. САНДЕЦЬКА — N.V. Sandetska <https://orcid.org/0000-0002-0558-2295>

А.П. ІВАНИЦЬКА — A.P. Ivanytska <https://orcid.org/0000-0003-3987-4728>

Д.А. КІРІЗІЙ — D.A. Kiriziy <https://orcid.org/0000-0001-6079-893X>