

АГРОБІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НОВИХ ГЕНЕТИЧНИХ ДЖЕРЕЛ ВИСОКОЇ БІЛКОВОСТІ ЗЕРНА І ЇХ ОСОБЛИВОСТІ В НАКОПИЧЕНІ І РЕУТИЛІЗАЦІЯ АЗОТУ

МОЛОДЧЕНКОВА О.О. – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник
orcid.org/0000-0003-2511-0866

Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортування
Національної академії аграрних наук України

ФАНІН Я.С. – аспірант

orcid.org/0000-0003-3129-7583

Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортування
Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Основа харчового раціону більшості людства є зерновий злак – пшениця [1]. Україна входить до п'ятірки найбільших експортерів зерна на світовому ринку. Через війну, яку розв'язала росія 24.02.2022 року, за оцінками досліджень ООН, є загроза найбільшій продовольчій кризи у світі за останні 80 років [13]. Поряд з цим, поліпшення якості українського зерна залишається актуальною проблемою, оскільки майже половина валового збору пшениці в Україні належить до фуражного класу згідно з ДСТУ 3768:2010 [14]. Серед нормативних показників якості, що регламентуються цим державним стандартом, особливе значення має вміст білка, оскільки цей показник обумовлюється не технологічними особливостями збирання, очищення та зберігання зерна, а формуються ще на етапі вирощування рослин пшениці [3]. Якщо під час вегетації ми не можемо вплинути на погодні умови, то за рахунок підбору агротехнічних прийомів (особливо дози добрив) та сортів, є можливість отримати високий врожай зерна з високим вмістом білка. Сучасні сорти пшениці української селекції знаходяться в жорсткій конкуренції з іноземними сортами. І щоб вдало і далі конкурувати, треба селекційно підвищувати не тільки рівень врожайності, а й одночасно рівень якості зерна пшениці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вже довгий час, а саме більше 100 років, триває науково обґрунтована селекція пшениці, і за цей час відбулися принципові зміни у селекційному процесі. На зміну екстенсивним сортам прийшли спочатку сорти напівінтенсивного, а потім і сорти інтенсивного типу із залученням генів короткостебловості та т.д. [11]. Слід зазначити, що завдяки генетичному поліпшенню, найбільш продуктивні сорти пшениці озимої мають дуже високий рівень засвоєння азоту та його реутилізації [15]. Частково це стосується також інших елементів живлення [16]. Тому вдосконалення системи удобрення є неодмінною складовою реалізації генетичної продуктивності культури пшениці озимої, а для правильної стратегії застосування добрив важливе розуміння взаємодії генотипу, навколишнього середовища та заходів управління живленням [17]. В останні десятиліття у селекції пшениці принципово нові генетичні джерела допомагали досягти значних успіхів стосовно підвищення врожайності та ефективності використання мінеральних добрив, проте якість зерна, яка негативно корелює з продуктивністю,

знизилася [2]. Для подолання хоча б частково цієї закономірності, знову треба залучати нові генетичні джерела [3]. Біосинтез білка в зерні відбувається в за допомогою використання двох джерел азотистих сполук: перше – це реутилізація азоту, який був накопичений під час росту у вегетативних органах (переважно листках і стеблах) до цвітіння, друге це – поглинання азоту з ґрунту в період наливу зерна [4]. Будь-яке підвищення якості зерна, а саме білковості пшениці, має супроводжуватися збільшенням поглинання азоту та ефективності його використання [5].

Окрім значної ролі у синтезі амінокислот, і як наслідок, заносного білка, азот також приймає важливу роль в біосинтезі ферментів які беруть участь в фотосинтезі. Тому між вмістом азоту в листках та активністю фотосинтезу є значна кореляція. Відомо, що більш як 60–70% азоту, який міститься у стиглому зерні, забезпечує реутилізація цього елемента, накопиченого в різних органах рослини перед цвітінням [6].

Наслідком руйнування білків цитоплазми через високі температури є інтенсивний відтік азоту з вегетативних частин. Високі температури призводять до зниження вологості ґрунту, а дефіцит води зменшує асиміляцію вуглеводів через прискорене старіння листка, що збільшує відтік білків у зерно завдяки гідролізу білка. Але занадто високі денні температури (понад +30 °C) у поєднанні з суховіями і низькою вологістю ґрунту, погіршують якість зерна і призводять до формування щуплого зерна з низькою натурою [9]. Така ситуація спостерігалася у більшості областей України у 2019/20 роках.

У пшениці реутилізація азоту зі стебла й листків до зерна залежить від екологічних чинників, внесення добрив та генотипу [7]. Зі зменшенням висоти стебла азотний індекс врожаю (тобто ефективність використання поглиненого рослиною азоту на формування маси зерна) збільшується. Для цього треба зменшити конкуренцію між вегетативними й генеративними органами за азот після цвітіння та посилити його поглинання. Останнє особливо важливе для формування врожайності, оскільки зерно, що дозріває, є потужним акцептором азоту і перемикає на себе його ремобілізацію з вегетативних органів [8].

Перспективним напрямом селекції на покращення використання азоту як вегетативним, так і генеративними органами під час цвітіння є залучення нових генів

за рахунок віддаленої гібридизації. Один із таких варіантів це використання генна GPC-B1 який був ідентифікований і перенесений від дикої полби (*Triticum dicoccoides*), та гени високої білковості від *Aegilops tauschii*. За літературними даними, ген GPC-B1 впливає позитивно на збільшення білковості в порівнянні з сестринськими лініями, але при цьому спостерігається зменшення маси зерен. Також цей ген впливає на прискорення фізіологічного старіння листків, і, можливо, як наслідок, на врожай і якість зерна [10].

Мета дослідження. Дати характеристику за комплексом ознак експериментально створеним генетичним джерелам високої білковості та встановити особливості накопичення азоту в різних органах вегетативної частини рослин й реутилізації в зерно впродовж весняно-літньої вегетації в порівнянні із іншими генотипами пшениці.

Умови, матеріали та методи. Польові дослідження проводилися по чорному пару на дослідній ділянці відділу селекції та насінництва пшениці СГІ-НЦНС у період 2019–2022 рр. Для виявлення особливостей накопичення азоту в онтогенезі, об'єктом дослідження були 7 сортів і ліній озимої м'якої пшениці, поділені за генотипом на наступні групи: 1. Низькорослий високоінтенсивний сорт Колонія (Ліма-грейн Франція) 2. Середньорослий сорт носії алелів високих хлібопекарських показників Куяльник (СГІ-НЦНС); 3. Низькорослий сорт носії пшенично-житньої транслокації (BL/RS) сорт Щедрість (СГІ НЦНС); 4. Середньоросла лінія з геном підвищеної білковості від *A. tauschii* (Er 1598/12); 5. Середньоросла лінія з геном GPC-B1(Er 9520 GPC-B1+) та її сестринська лінія без гена(Er 9099 GPC-B1-). 6. Високорослий сорт екстенсивного типу Одеська 16 (СГІ НЦНС). Посів проводився в оптимальні для півдня України строки. Матеріалом для вивчення впливу генів високої білковості від *A. tauschii* були лінія, отримана в результаті 3–10 насичених схрещувань адаптивних сортів пшениці Одеська 267, Зміна, Альбатрос з штучними видами пшениці та амфідиплоїдами, схрещування сорту Селянка з мексиканськими елітними синтетиками (амфідиплоїдами *T. durum* Desf./*A. tauschii* Coss.), які були надані к.б.н. І.І. Моцним. Матеріалом для вивчення гена GPC-B1 слугували лінії F6–F7, отримані від схрещування сорту Куяльник *T. aestivum* з лінією – донором гена *Gpc-B1* від *T. turgidum* ssp. *dicoccoides*. які передав д.б.н. О.І. Рибалка.

Польові досліді проводилися на ділянках 6 м², в 3-х кратній повторності. в суцільному посіві, поділені на два варіанти за кількістю внесення азотних добрив(NH₄NO₃) на двох фонах за кількістю діючої речовини на 1га, N60 і N120. Для визначення накопичення азоту в динаміці були взяті зразки листків і стебел до колосіння і колосу після колосіння. Взяття зразків проводилося в 5 строків, починаючи з виходу в трубку кожні 20 днів, і починаючи з колосіння у фази стиглості зерна.

За даними метеорологічної служби Одеського аеропорту, за період вегетації у 2019/20 р. випало 290 мм опадів, більшість яких в осінній і зимовий період, тоді як в березні й квітні був значний дефіцит вологи. В цілому рік можна охарактеризувати як дуже несприятливий

за погодними умовами. У наступний вегетаційний рік 2020/21 випало 500 мм, що на 70% більше, ніж в перший рік досліджень. Цей рік можна вважати оптимальним для вегетації за абіотичними факторами. У 2021/22 вегетаційний рік випало 300 мм, але на відміну від 2020 року, в березні-квітні рівень опадів був дещо вищим.

Для визначення розподілу загальної біомаси між генеративними і вегетативними органами нами були проведені заміри маси всієї надземної частини рослин з 1 м² і також окремо маси стебел та отриманого зерна зі всіх рослин на 1 м². Щоб визначити питому вагу врожаю зерна від загальної маси, тобто дізнатися співвідношення «К господарське» рослини, був порохований відсоток маси зерна, отриманого з 1 м² від всієї маси надземної частини з 1 м².

Загальний вміст білка визначали за допомогою сучасного і загальноприйнятого підходу – методом інфрачервоної спектроскопії (NIR). Аналізи були проведені з використанням інфрачервоної спектроскопії на приладі "Inframatic 8600" (Perten, Sweden) [18]. В якості референтного методу для визначення загального вмісту білка та визначення вмісту азоту у стеблах і листках використовували метод К'ельдаля. Масу тисячі зерен (МТЗ) визначали за загальноприйнятою методикою (ДСТУ 4138-2002). При доборі ліній з підвищеним вмістом білка розраховували додаткові критерії білковості – «Збір білка на одиницю площі» = («Урожайність, ц/га» × «Вміст білка, %»)/100% та «Абсолютний вміст білка в перерахунку на 1000 зерен» = («МТЗ, г» × «Вміст білка, %»)/100%.

Для визначення ефективності реутилізації азоту, рахувався відсоток зміни частки азоту сухої речовини від його вмісту у фазах від виходу в трубку до воскової стиглості

Результати та обговорення. Проведенні дослідження впродовж трьох років дозволили у певній мірі відстежити особливості споживання азоту рослинами, формування врожаю та його якості, під впливом доз мінеральних добрив, генотипу і погодних умов у період вирощування пшениці озимої. Аналізуючи дані урожайності та показників якості сучасних сортів, слід зауважити, що всі сорти та лінії відносяться до короткостеблого напівкарлекового типу з висотою рослин від 72–86 см в залежності від наявності експресії генів короткостебловості в конкретних умовах. Винятком є сорт екстенсивний типу Одеська 16 з висотою рослин в межах 110–120 см. Так різниця в висоті має велике значення між розподілом маси стебел і листків та зерна.

Аналіз отриманих даних показав, що зі збільшенням азотного живлення спостерігалось підвищення частки зернової маси, тобто «К господарського», в залежності від року і рівня азотного підживлення (рис. 1, 2). Так, у варіанті із дозою азотного підживлення N 60 найбільшу частку маси зерна мають сорти Куяльник 48,6% і Щедрість 49,3%. Дослідні лінії дещо поступалися зерновою часткою: так, лінії Er 9525 і Er 1598/12 мали 47% і 45,9% частки маси зерна відповідно. Хоча це більше ніж частка зерна у сестринської лінії Er 9099 без гена GPC-B1 45,9%. Хоча це було більше, ніж частка маси зерна у сестринської лінії Er 9099 без гена

GPC-B1 – 45,9%. При збільшенні дози азотного підживлення у варіанті N 120, найбільшу частку маси зерна, окрім сортів Куяльник (49,2%) і Щедрість (51,8%), мав сорт Колонія з часткою зерна із загальної надземної біомаси 51,2%. Дослідна лінія Eг 1598/12 з генами високої білковості від *A. tauschii* дещо поступалася цим сортам за часткою маси зерна (46,2%), тоді як лінія Eг 9525 відрізнялася більш значною масовою часткою зерна, ніж сорт Куяльник. У двох варіантах внесення азотних добрив найменшу частку маси зерна мав сорт екстенсивного типу Одеська 16 – у межах 36,1–36,8%.

У свою чергу, такий розподіл маси між зерном та вегетативною частиною впливав на врожайність (табл. 1). За результатами трьох років, сорт– носій пшенично-житньої транслокації (BL/RS) Щедрість і сорт – носій алелів високих хлібопекарських показників Куяльник мали найбільшу врожайність як у варіанті внесення добрив N 60 (5,61 і 5,57 т/га відповідно), так і у варіанті N 120 (6,55 і 6,04 т/га відповідно). Лінії з геном GPC-B1 та генами підвищеної білковості від *A. tauschii* дещо поступалися цим сортам за врожайністю за даних умов досліду. Аналогічна врожайність (як у дослідних лініях) була встановлена у сорту Колонія. Найнижчим рівнем врожайності відрізнявся сорт екстенсивного типу Одеська 16.

За білковістю зерна спостерігалася досить значна різниця між генотипами. Найбільший вміст білка особливо чітко виявлено у варіанті N 120, в середньому протягом років, у лінії з геном GPC-B1 – 13,2%, а також у лінії з підвищеною білковістю від *A. tauschii* – 13,4%.

Підвищений вміст білка було встановлено у сорту Одеська 16 у варіанті N 60 – 12% та у варіанті N 120 – 13,3%. Крім того, відзначалася позитивна реакція сортів пшениці на збільшення норм внесення азотних добрив у вигляді зростання рівня білковості зерна та значної його диференціації по сортах і лініях. Найбільший приріст рівня білковості спостерігався у експериментальних ліній Eг 9525 – 1,6%, Eг 1598/12 – 1,6%, а також у сорту Одеська 16. Отже, з отриманих даних можна зробити висновок, що експериментальні лінії Eг 9525 та Eг 1598/12 відрізнялися більш підвищеним вмістом білка у зерні, ніж інтенсивні сорти пшениці, які досліджувалися, а у варіанті N 60 були на рівні сорту Одеська 16 та перевищували цей сорт за білковістю зерна у варіанті N 120.

В середньому по роках, МТЗ у досліді коливалася від 35,3 г до 37,3 г у варіанті N 60 та від 35,6 до 38,3 г у варіанті N 120. Як видно, за виключенням сорту Одеська 16, різниця між варіантами використання доз азотних добрив за показником МТЗ складала менше 1 грама. Щодо реакції окремих генотипів за МТЗ, то найбільш відрізнявся за двома варіантами досліду сорт Одеська 16 з МТЗ у варіанті N 60 – 37,3 г, у варіанті N 120 – 38,3 г. У лінії Eг 1598/12 МТЗ була у варіанті N 60 – 36,7 г, у варіанті N 120 – 36,3%. Аналогічна реакція за МТЗ встановлена і у інших сортів, що вивчалися. Найменше значення МТЗ спостерігалася у лінії Eг 9525 (в середньому по роках у варіанті N 60 – 35,3 г, у варіанті N 120 – 35,6 г).

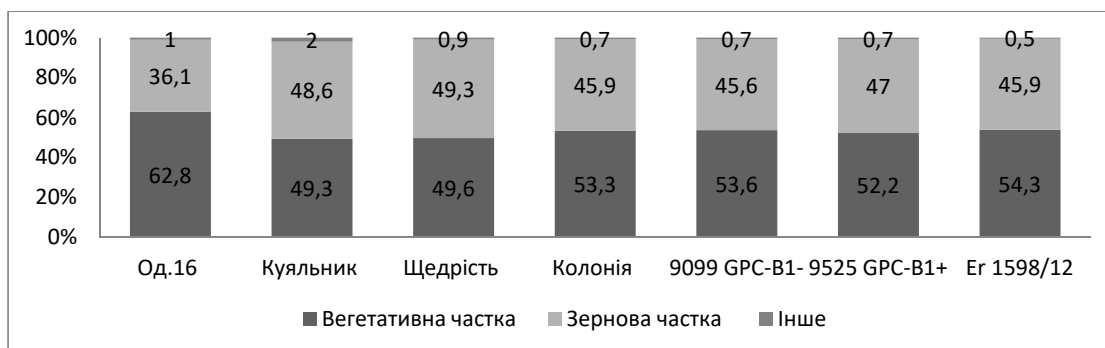


Рис. 1. Розподіл маси між вегетативними і генеративними органами у надземній частині рослин в середньому по роках у варіанті N 60

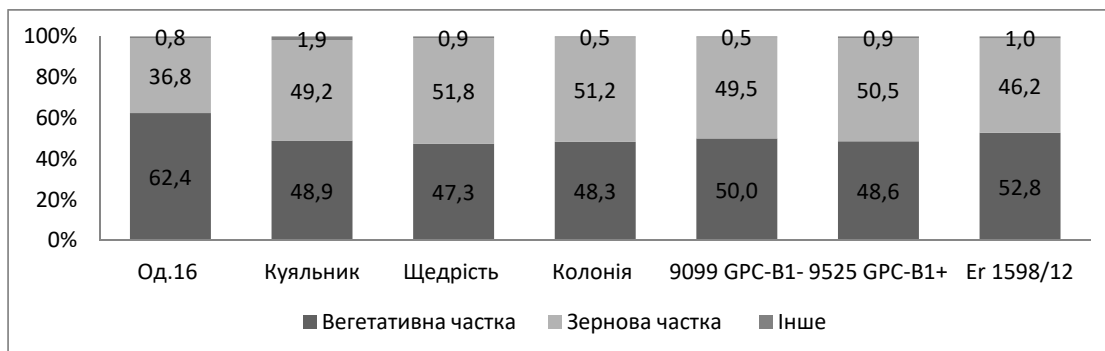


Рис. 2. Розподіл маси між вегетативними і генеративними органами у надземній частині рослин в середньому по роках у варіанті N 120

Таблиця 1

Агробіологічна характеристика нових генетичних джерел високої білковості зерна

Назва	Висота рослин, см		Урожайність, т/га		Білковість зерна, %		Маса 1000 зерен, г		Урожай білка, т/га		Маса білка в 1000 зерен г	
	N 60	N 120	N 60	N 120	N 60	N120	N 60	N120	N 60	N 120	N 60	N 120
Одеська 16	111	117	2,98	3,47	12,0	13,3	37,3	38,3	0,36	0,46	4,44	5,09
Куяльник	82	87	5,57	6,04	11,4	12,3	36,4	36,8	0,63	0,74	4,14	4,54
Щедрість	77	83	5,61	6,55	10,7	11,4	35,8	37,2	0,60	0,74	3,92	4,23
Колонія	75	81	4,84	5,62	10,3	11,3	35,7	36,5	0,50	0,63	3,66	4,11
Er 9099 -	82	87	5,07	5,76	11,4	12,4	36,0	36,7	0,58	0,71	4,10	4,54
Er 9525	81	88	5,18	5,72	12,0	13,6	35,3	35,6	0,62	0,78	4,25	4,84
Er 1598/12	85	92	5,01	5,84	12,0	13,3	36,7	36,3	0,60	0,78	4,40	4,84

Враховуючи негативну кореляцію між врожайністю і вмістом білка, доцільним було встановити масу зібраного білку з одиниці площі (1га). Розрахунок проводився за формулою – (врожай / 100)* білок. Як видно із проведених розрахунків, незважаючи на високий вміст білка в зерні у сорту Одеська 16, за збором білка з одного гектара він мав найнижчий показник. Найвищі результати за збором білка з 1 га на двох фонах мали високобілкові лінії з геном GPC-B1 та з генами підвищеної білковості від *A. tauschii*. Дещо нижчі значення за цим показником мали високоврожайні сорти Куяльник і Щедрість. Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що використання інтрогресивних ліній, від *T. turgidum* spp. *Dicoccoides* і *A. tauschii*, є перспективним напрямом селекції пшениці для отримання відхідного матеріалу з поліпшеними біохімічними показниками якості зерна.

Встановлено також значний вплив МТЗ на загальний рівень білковості зерна пшениці. За літературними даними, існує пряма негативна кореляція між цими двома показниками. Для нівелювання дисперсії ознаки вміст білка, зумовленої варіаціями анатомічної будови зернівки або продуктивності рослини під впливом екологічних чинників нами було вивчено у досліджених генотипів показник абсолютного вмісту білка в перерахунку на 1000 зерен. У варіанті внесення добрив N 60, в середньому по роках досліджень, найбільше значення абсолютного вмісту білка в перерахунку на 1000 зерен було у сорту Одеська 16 і лінії Er 1598/12 з генами високої білковості від *A. Tauschii*. Лінія Er 9525 – носій гена GPC-B1, відрізнялася дещо нижчим значенням абсолютного вмісту білка в перерахунку на 1000 зерен, але у варіанті внесення добрив N120 цей показник був практично на рівні лінії Er 1598/12. Найбільший абсолютний вміст білка в перерахунку на 1000 зерен був встановлений у сорту Одеська 16. В середньому по роках досліджень найменше значення цього показника на двох варіантах внесення добрив спостерігалось у сортів Колонія і Щедрість. На основі отриманих даних можна стверджувати, що лінія Er 1598/12 з генами високої білковості від *A. tauschii* та лінія Er 9525 – носій гена GPC-B1 у двох варіантах внесення добрив переважають за абсолютним вмістом білка в перерахунку на 1000 зерен не тільки інтенсивні сорти, а й сестринську лінію Er 9099 без гена GPC-B1. Експериментальні лінії посту-

палися за цим показником тільки екстенсивному високорослому сорту Одеська 16.

Вміст азоту у вегетативних органах рослин озимої пшениці в період вегетації – це важливий фактор, що визначає величину та якість майбутнього врожаю. Азотисті речовини, накопичені в загальній біомасі, повторно використовуються рослиною для синтезу запасних білків у зернівках. Вивчення динаміки накопичення вмісту азоту в різних органах рослин озимої пшениці показало, що його кількість в процесі росту та розвитку знижується. За рахунок реутилізації пластичних речовин у зерно спостерігається зменшення маси сухої речовини вегетативних частин рослин пшениці протягом досягання (рис. 3). Це свідчить про те що головна роль накопиченню і зберігання азоту в рослині належить саме листкам. У варіанті N60 азотного живлення, спостерігалось зменшення відносного вмісту цього елемента в усіх органах пагона пшениці, починаючи від фази виходу в трубку, порівняно з високим рівнем живлення у варіанті N120.

Встановлено, що концентрація елементів живлення у тканинах зменшується, згідно з відомим ефектом розбавлення (dilution effect), під час інтенсивного нарощування вегетативної маси рослин. Цей ефект може бути критичним для формування врожаю пшениці озимої, тому часто використовується у листовій діагностиці живлення рослин [20]. Разом з цим, сортові відмінності у накопиченні азоту краще проявилися у 2021 та 2022 роках, коли кількість опадів у квітні-травні були значно більшими. Особливо істотним це зменшення було у сорту екстенсивного сорту Одеська 16. Загалом за вмістом азоту в листках сорти інтенсивного (Колонія, Куяльник, Щедрість) також лінія Er 1598/12 переважали сорт Одеська 16, що пов'язано з потужністю їх фотосинтетичного апарату. За рівнем азоту в листках в лінії Er 9520 GPC-B1+ під час значно поступається своїй сестринській лінії, особливо під час наливу зерна. Різниця між сестринськими лініями Er 9520 GPC-B1+ та Er 9099 GPC-B1- на варіанті N 60 за кількістю азотвмісних сполук, з більшим показником у лінії без гена GPC-B1, підчас виходу в трубку складала 4,7%, у фазу 3-го вузла 5,8%, у фазу колосіння 19,8%, у фазу молочної стиглості 25%, у фазу воскової стиглості 30,6%. На варіанті N 120 спостерігалась аналогічна тенденція: підчас виходу в трубку різниця складала 2,7%, у фазу



Рис. 3. Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в стеблі головного пагона рослин озимої пшениці різних генотипів за низького (N60) рівня мінерального живлення в середньому по роках



Рис. 4. Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в стеблі головного пагона рослин озимої пшениці різних генотипів за високого (N120) рівня мінерального живлення в середньому по роках



Рис. 5. Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в листках рослин озимої пшениці різних генотипів за умов низького (N60) рівня мінерального живлення в середньому по роках

3-го вузла 7,7%, у фазу колосіння 8,6%, у фазу молочної стиглості 45%, у фазу воскової стиглості 47,0%. В той же час, за рівнем білковості лінія з геном GPC-B1 перевищувала лінію без гена GPC-B1 за результатами трьох років в середньому на 10%. Це може свідчити

про вплив гена GPC-B1 на процеси реутилізації азоту, які протікають більш активніше, внаслідок чого відбувається більш значне накопичення запасних білків. Експериментальна лінія Er 1598/12 мала більш високий рівень накопиченого азоту протягом всієї вегетації,

в порівнянні з лінією Er 9520 GPC-B1+, але за вмістом білка вони не відрізнялися. Аналогічна тенденція була встановлена за накопиченням азотовмісних речовин і в стеблах. Експериментальна лінія Er 9520 GPC-B1+ мала значно менше вміст азотовмісних речовин в порівнянні з сестринською лінією без гена. Сорт Одеська 16 відрізнявся меншим накопиченням азоту в порівнянні з інтенсивними сортами в процесі вегетації, особливо у варіанті N 60. Суттєва різниця у накопиченні азоту в серед інтенсивних сортів не спостерігалася.

Визначення ефективності реутилізації азоту показало, що відсоток реутилізації азоту у фазах від виходу в трубку до наливу зерна, за двома роками на високому рівні мінерального живлення був вищим у сортів інтенсивного типу, ніж у сорту Одеська 16 (рис. 7, 8). Зниження рівня мінерального живлення призвело до зменшення відсотку реутилізованого азоту у всіх досліджених сортів приблизно на 10–15%, однак перевага інтенсивних сортів над сортом Одеська 16 за цим показником зберігалася. Визначення. В свою чергу експериментальні лінії с геном Er 9520 GPC-B1+ має найбільший рівень

реутилізації білку Розрахунки відсотка реутилізації азоту для окремих вегетативних органів підтвердили, що для листків усіх сортів за обох рівнів живлення показник був вищим, ніж для стебла. Це пов'язано переважно з високим вмістом азоту в листках у фазу цвітіння.

Висновок. Дослідивши сорти і експериментальні лінії за комплексом агробіо-логічних показників встановлено, що експериментальні лінії с генами від *Triticum. Dicoccoides* (GPC-B1) та *Aegilops tauschii* мають на рівні чи більше білковість ніж Одеська 16, хоча дещо поступаються за врожайністю сучасним сортам, але за показниками врожаю білку з 1 гектару і маси білку в 1000 зерен перевищують ці сорти.

Накопичення азоту в вегетативну масу та його реутилізація в зерно має сортову специфіку. Незважаючи на значний вплив погодних умов на процес накопичення і реутилізації, за три роки прослідковується стала тенденція по роках. За даними трьох років було виявлено суттєву різницю в кількості накопиченого азоту і відсотком реутилізації між вегетативними органами, інтенсивність використання азоту в листках під час вегетації

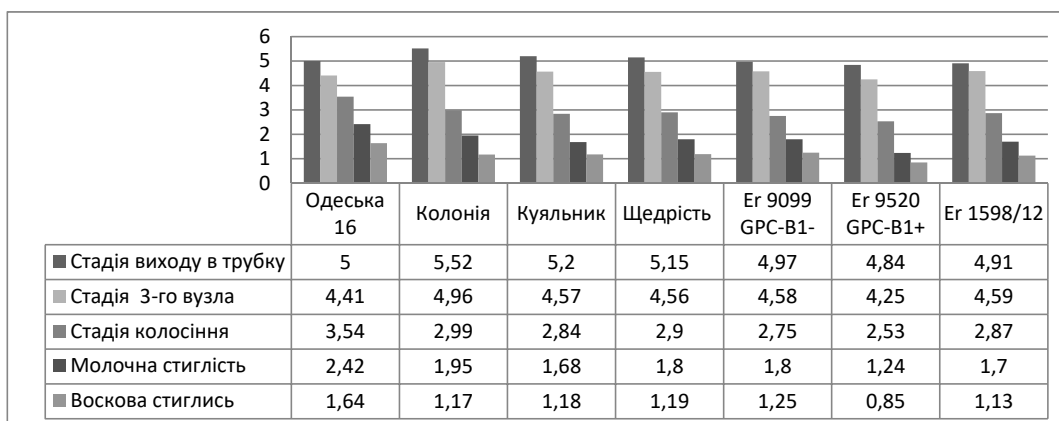


Рис. 6. Вміст загального азоту (% маси сухої речовини) в листках рослин озимої пшениці різних генотипів за умов високого (N120) рівня мінерального живлення в середньому по роках

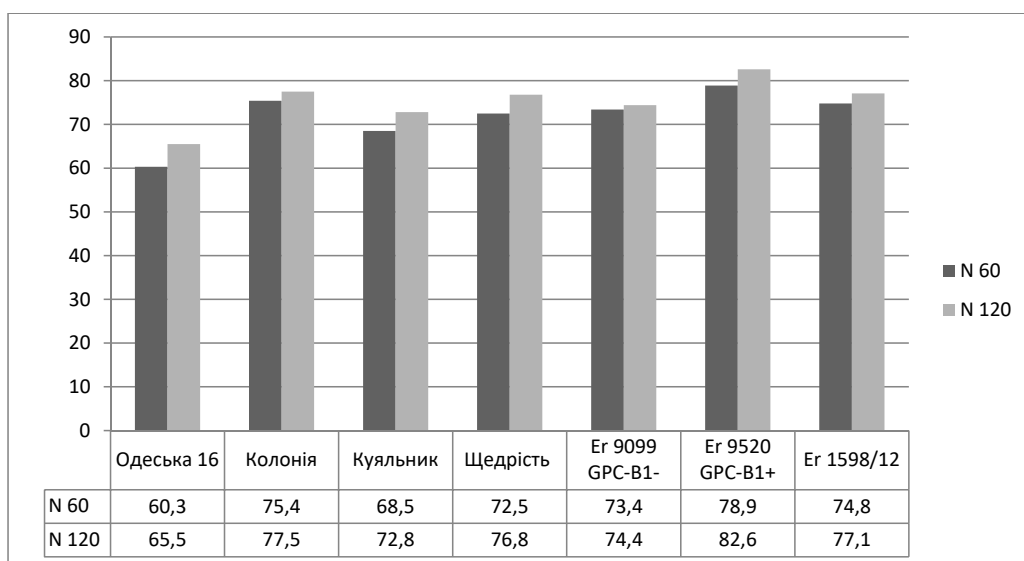


Рис. 7. Вплив генотипів на реутилізацію азоту (%) із листка в зерно в середньому за 2020–2022 роки

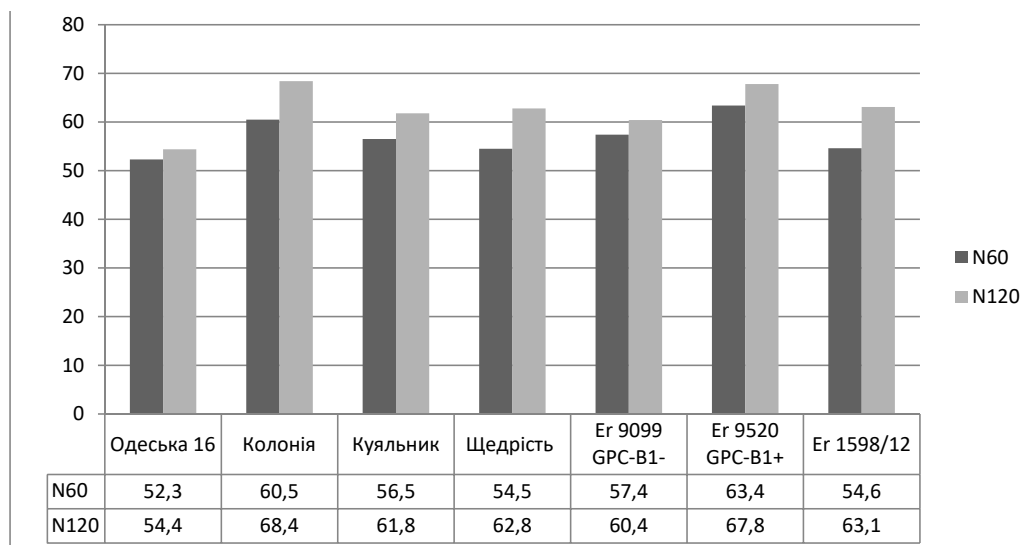


Рис. 8. Вплив генотипу на реутилізацію азоту (%) із стебла в зерно в середньому за 2020–2022 роки

і наливу зерна більше в порівнянні з стеблом. Отже можна сказати що саме за рахунок азоту листку формується білковість зерна. Одеська 16 слабкіше реагує вмістом азоту і відсотком реутилізації на підвищення агрофону ніж лінія Er 1598/12 і інші сорти. Разом з цим маючи менший відсоток реутилізації відрізняється високою білковістю зерна в порівнянні з іншими генотипами особливо на низькому агрофоні. В листках і стеблах інтенсивних сортів (Колонія, Куяльник, Щедрість) відсоток вмісту і реутилізації азоту значно вищий ніж у екстенсивного сорту Одеська 16 і лінії с GPC-B1 – Er 9520. Хоча лінія Er 9520 має менший вміст азоту в листках і стеблах від сестринська Er 9099 та інтенсивні сорти, але відсоток вторинного використання азоту (реутилізації) значно більший. Особливо цей відсоток зростає при збільшенні агрофону, що свідчить про більш ефективне використанні засвоєного азоту. Отримані результати можна використовувати при ідентифікації ліній с геном GPC-B1. Враховуючи трудомісткому та ціну проведення молекулярно-генетичного аналізу, більш вигідно за специфічним вмістом накопичення та реутилізації азоту в вегетативній масі ідентифікувати лінії носії гена GPC-B1.

Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що використання інтрогресивних ліній, від *T. turgidum* ssp. *Dicoccoides* і *A. tauschii*, є перспективним напрямом селекції пшениці для отримання відповідного матеріалу з поліпшеними біохімічними показниками якості зерна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Маханьова Ю. М. Експорт зернових культур України, ЄС і країн світу в умовах сучасних інтеграційних процесів. Ю. М. Маханьова. *Проблеми економіки*. 2015. №1. С. 27–36
2. Tribou E., Martre P., Girousse C. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat. *Eur. J. Agr.* 2006. Vol. 25, № 2. P. 108–118.
3. Починок В.М., Кірізі Д.А. Продуктивність і якість зерна пшениці у зв'язку з особливостями розподілу азоту в рослині. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2010. № 5, т. 42. С. 393–402.
4. Barraclough P.B., Lopez-Bellido R., Hawkesford M.J. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilisation of nitrogen during grain-filling in wheat. *Field Crops Res.* 2014. Vol. 156. P. 242–248.
5. Diekmann F., Fischbeck G. Differences in wheat cultivar response to nitrogen supply. II. Differences in N-metabolism-related traits. *J. Agr. Crop Sci.* 2005. Vol.191, № 5. P. 362–376
6. Dordas C. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. *Eur. J. Agr.* 2009. Vol. 30, № 2. P. 129–139.
7. Barbottin A., Lecomte C., Bouchard C., Jeuffroy M.H. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Sci.* 2005. Vol 45, № 3. P. 1141–1150.
8. Bertheloot J., Andrieu B., Fournier C., Martre P. A process-based model to simulate nitrogen distribution in wheat (*Triticum aestivum*) during grain-filling. *Funct. Plant Biol.* 2008. Vol. 35, № 9-10. P. 781–796.
9. Жемела Г.П. Заходи з поліпшення якості зерна: Науково-виробничий посібник українського хлібороба. Харків. *Академпрес*. 2009. С. 31–37.
10. Kade M., Barneix A.J., Olmos S., Dubcovsky J. Nitrogen uptake and remobilization in tetraploid 'Langdon' durum wheat and a recombinant substitution line with the high grain protein gene *Gpc-B1*. *Plant Breed.* 2005. Vol. 124, № 4. P. 343–349.
11. Lytvynenko, M. A. (2016). 100-year history of the development of bread winter wheat breeding programs. *Plant Varieties Studying and Protection*, (2(31)), 75–82.
12. Evans J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*. 1989. Vol 78. – P. 9–19.
13. M. Leaderer. The War in Ukraine Is Creating the Greatest Global Food Crisis Since WWII, the U.N. Says; by ed. *AP. Time*, March 30, 2022. <https://time.com/6162598/ukraine-war-food-shortage/>

14. ДСТУ 3768:2010. Пшениця. Технічні умови [Чинний від 01.04.2010 року] Київ, 2010
15. Barraclough P.B., Lopez-Bellido R., Hawkesford M.J. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilization of nitrogen during grain-filling in wheat. *Field Crops Research*. 2014. Vol. № 156. P. 242–248. doi: 10.1016/j.fcr.2013.10.004.
16. Hamnér K., Weih M., Eriksson J., Kirchmann H. Influence of nitrogen supply on macro- and micronutrient accumulation during growth of winter wheat. *Field Crops Research*. 2017. Vol. № 213. P. 118–129. doi: 10.1016/j.fcr.2017.08.002.
17. Hawkesford M. J., Riche A. B. Impacts of G×E×M on Nitrogen Use Efficiency in Wheat and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 2020. 11. 1157. doi: 10.3389/fpls.2020.01157.
18. ДСТУ 4117:2007 Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. – Держспоживстандарт України. 2007 С. 8.
19. Jarell W.M., Beverly R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 1981. Vol. 34 P. 197–224.
10. Kade M., Barneix A.J., Olmos S., Dubcovsky J. (2005). Nitrogen uptake and remobilization in tetraploid 'Langdon' durum wheat and a recombinant substitution line with the high grain protein gene Gpc-B1. *Plant Breed.* 124, N 4. P. 343–349
11. Lytvynenko, M. A. (2016). 100-year history of the development of bread winter wheat breeding programs. *Plant Varieties Studying and Protection*, (2(31)), 75–82.
12. Evans J.R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*. Vol 78. P. 9–19.
13. The War in Ukraine Is Creating the Greatest Global Food Crisis Since WWII, the U.N. Says; by ed. M. Leaderer. AP. Time, March 30, 2022. URL: <https://time.com/6162598/ukraine-war-food-shortage/>
14. DSTU 3768-2010 Pshenytsia. Tekhnichni umovy [Wheat. Specifications] (2010) Chynnyi vid 01.04.2010 roku Kyiv. [in Ukrainian]
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 Research*. Vol. 156. P. 242–248. doi: 10.1016/j.fcr.2013.10.004
16. Hamnér K., Weih M., Eriksson J., Kirchmann H. (2017) Influence of nitrogen supply on macro- and micronutrient accumulation during growth of winter wheat. *Field Crops Research*. Vol. 213. P. 118–129. doi: 10.1016/j.fcr.2017.08.002.
17. Hawkesford M. J., Riche A. B. (2020) Impacts of G×E×M on Nitrogen Use Efficiency in Wheat and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science*. 11. 1157. doi: 10.3389/fpls.2020.01157.
18. DSTU 4117:2007 Zerno ta produkty yoho pererobky. Vyznachennia pokaznykiv yakosti metodom infrachervonoj spektroskopii. [Grain and products of its processing. Determination of quality indicators by infrared spectroscopy] (2007) – Derzhspozhyvstandart Ukrainy. C. 8. [in Ukrainian]
19. Jarell W.M., Beverly R.B. (1981) The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 34: 197–224.

REFERENCES:

1. Makhanova Yu. M. (2015). Eksport zernovykh kultur Ukrainy, EU i krain svitu v umovakh suchasnykh inte-ratsiinykh protsesiv [Export of grain crops of Ukraine, the EU and the countries of the world in the conditions of modern integration processes]. *Problemy ekonomiky*. – 2015. – №1. 27–36. [in Ukrainian]
2. Triboi E., Martre P., Girousse C. (2006). Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat. *Eur. J. Agr.* 25, N 2. – P. 108–118.
3. Pochynok V.M., Kirizii D.A. (2010). Produktivnist i yakist zerna pshenytsi u zviazku z osoblyvostiamy rozpodilu azotu v roslynii. [Productivity and quality of wheat grain in connection with the features of nitrogen distribution in the plant]. *Fyzyolohyia y byokhymyia kult. rastenyi*. 42, № 5. S. 393–402. [in Ukrainian]
4. Barraclough P.B., Lopez-Bellido R., Hawkesford M.J. (2014). Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilisation of nitrogen during grain-filling in wheat. *Field Crops Res.* 156. P. 242–248.
5. Diekmann F., Fischbeck G. (2005). Differences in wheat cultivar response to nitrogen supply. II. Differences in N-metabolism-related traits. *J. Agr. Crop Sci.* 191, N 5. P. 362–376.
6. Dordas C. (2009). Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. *Eur. J. Agr.* 30, N 2. P. 129–139.
7. Barbottin A., Lecomte C., Bouchard C., Jeuffroy M.H. (2005). Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Sci.* 45, N 3. P. 1141–1150.
8. Bertheloot J., Andrieu B., Fournier C., Martre P. (2008). A process-based model to simulate nitrogen distribution in wheat (*Triticum aestivum*) during grain-filling. *Funct. Plant Biol.* 35, N 9-10. P. 781–796.
9. Zhemela H.P. (2009). Zakhody z polipshennia yakosti zerna: Naukovo-vyrobnychi posibnyk ukrainskoho khliboroba. [Measures to improve the quality of grain: Scientific and production manual of the Ukrainian farmer] *Kharkiv: Akadempres*. P. 31–37. [in Ukrainian]

Молодченкова О.О., Фанін Я.С. Агробіологічна характеристика но-вих генетичних джерел високої білковості зерна і їх особливості в накопиченні і реутилізації азоту

Мета. Дати характеристику за комплексом ознак експериментально створеним генетичним джерелам високої білковості та встановити особливості накопичення азоту в різних органах вегетативної частини рослин і реутилізації в зерно впродовж весняно-літньої вегетації в порівнянні із іншими генотипами пшениці. **Методи.** Експеримент проводився на дослідних полях СГІ НЦНС після відновлення весняної вегетації в 2020–2022 рр. **Методи досліджень:** польові, лабораторні, статистичні. **Результати.** Встановлено, що експериментально створені генетичні джерела високої білковості від *Triticum dicoccoides*(GPC-B1) та *Aegilops tauschii* характеризувалися високими показниками вмісту білка в зерні, збору білка з 1 гектару і абсолютного вмісту білка в 1000 зерен, ніж сучасні сорти пшениці, але поступалися їм за врожайністю. Показано, що збільшення дози амі-

ачної селітри (NH_4NO_3) призвело до зростання вмісту азоту у вегетативній масі рослин пшениці. Виявлено суттєву різницю в кількості накопиченого азоту і відсотка реутилізації азоту між вегетативними органами рослин, більш значну інтенсивність використання азоту в листках під час вегетації і наливу зерна в порівнянні зі стеблом. Встановлено, що в листках і стеблах інтенсивних сортів (Колонія, Куяльник, Щедрість) відсоток вмісту і реутилізації азоту був значно вищий, ніж у екстенсивного сорту Одеська 16 і лінії Er 9520 з геном GPC-B1. Однак лінія Er 9520 мала менший вміст азоту в листках і стеблах в порівнянні з сестринською лінією Er 9099 та інтенсивними сортами, але відсоток вторинного використання азоту (реутилізації) у цієї лінії був значно більший. Особливо відсоток реутилізації азоту зростає при збільшенні агрофону, що свідчить про більш ефективне використання засвоєного азоту. Висновок. Експериментально створені генетичні джерела високої білковості від *Triticum dicoccoides*(GPC-B1) та *Aegilops tauschii* мають більш високі показники вмісту азоту/білка, відсотку реутилізації азоту, особливо на високому агрофоні, в порівнянні з сучасними сортами пшениці, хоча дещо поступаються за врожайністю високоінтенсивним сортам, але мають підвищені показники збору білка з 1 гектара та абсолютного вмісту білка в 1000 зерен, які дозволяють нівелювати дисперсію ознаки вміст білка, зумовлену варіаціями анатомічної будови зернівки або продуктивності рослини під впливом екологічних чинників. Тому використання генів підвищеної білковості від *A. tauschii* та *T. dicoccoides* шляхом віддаленої гібридизації є перспективним напрямком селекції на покращення використання азотних добрив і підвищення вмісту білка в зерні.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., погодні умови, мінеральне живлення, GPC-B1, *A. tauschii* та *T. dicoccoides*, вміст білка.

Molodchenkova O.O., Fanin Ya.S. Agribiological characterization of new genetic sources of high protein content of grain and their peculiarities in nitrogen accumulation and reutilization

Objective. To investigate and characterize by a complex of traits and identify genetic sources of high protein content and to study the peculiarities of nitrogen accumulation in different organs of the vegetative part of plants and its

reutilization into grain during the spring-summer vegetation in experimental lines in comparison with other genotypes. **Methods.** The experiment was carried out on the experimental fields of the SGA NSCNS after the restoration of spring vegetation in 2020–2022. **Research methods:** field, laboratory, statistical. **Results.** Experimental lines from backcross hybridization with genes of high protein content from *Triticum dicoccoides* (GPC-B1) line with *Aegilops tauschii* were studied for a complex of traits. As a result, the agrobiological characteristics of the experimental lines were given in comparison with the standard varieties: Kuyalnik, Odeska 16, Shchedritsa, and Kolonia. Based on the data obtained, the percentage of nitrogen recycling from the stage of tube emergence to waxy ripeness of grain for stem and leaves was calculated. It has been shown that in winter wheat plants of new varieties (Kolonia, Kuyalnik, Shchedrish) the efficiency of nitrogen recycling from the vegetative parts of the shoot to the grain is higher than in Odessanska 16. However, high-intensity varieties forming a significantly higher yield are inferior to Odeska 16 in terms of protein content. Experimental lines with genes from *Triticum dicoccoides* (GPC-B1) and *Aegilops tauschii* have the same or higher protein content than Odeska 16, although somewhat inferior in yield to modern varieties, but exceed these varieties in terms of protein yield per 1 hectare and protein weight per 1000 grains. **Conclusion.** The experimental line with genes of high protein content from *Triticum dicoccoides* (GPC-B1) and *Aegilops tauschii* have a higher percentage of recycling, especially on the N 120 variant, compared to other varieties, although slightly inferior in yield to high-intensity varieties, but superior in terms of the mass of harvested protein per 1 hectare. Lines Er 9520 and Er 1598/12 have the highest mass fraction of harvested protein per 1 ha compared to other genotypes. The Er 9520 line has the highest percentage of nitrogen recycling, especially on the variant of nitrogen fertilizer N 120 and, as a result, has the highest level of grain protein content compared to other genotypes. Therefore, the use of genes for increased protein content from *A. tauschii* and *T. dicoccoides* by remote hybridization is a promising direction of breeding for improving the use of nitrogen fertilizers and increasing the protein content in grain.

Key words: *Triticum aestivum* L., weather conditions, mineral nutrition, GPC-B1, *A. tauschii* and *T. dicoccoides*, protein content.