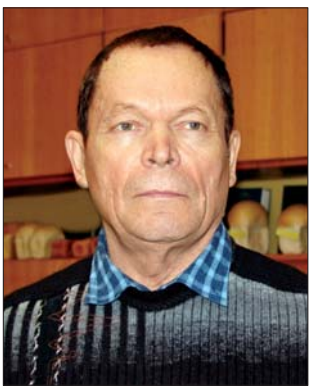
СТАТТІ ТА ОГЛЯДИ

doi: https://doi.org/10.15407/visn2017.03.054

МОРГУН
Володимир Васильович —
академік НАН України,
академік-секретар Відділення
загальної біології НАН України



РИБАЛКА Олександр Ілліч —
академік Академії аграрних наук
Франції, завідувач відділу
генетичних основ селекції
Селекційно-генетичного
інституту — Національного
центру насіннєзнавства
та сортовивчення НААН України,
старший науковий співробітник
лабораторії якості зерна
Інституту фізіології рослин
і генетики НАН України

СТРАТЕГІЯ ГЕНЕТИЧНОГО ПОЛІПШЕННЯ ЗЕРНОВИХ ЗЛАКІВ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ, ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНОГО ХАРЧУВАННЯ ТА ПОТРЕБ ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У статті викладено результати вивчення і впровадження в програми селекційно-генетичних досліджень нових генів і генетичних систем, що впливають на біохімічні, харчові і технологічні властивості зерна пшениці, тритикале і ячменю з метою створення сортів цих культур продовольчого та спеціального технологічного використання зерна.

***Ключові слова*:** запасні білки зерна, послідовність амінокислот, електрофорез, ПЛР, функціональні та молекулярні маркери хромосом, хлібопекарська і харчова якість зерна, QTL-фактор *Gpc-B1*, амілоза, хромосомні транслокації, екстраекспресія генів, ферментабельність, β-глюкани, сорти.

Ваша їжа має бути вам ліками,
а вашими ліками має бути їжа.

Гіппократ (близько 460 — 377 рр. до н.е.),
давньогрецький лікар, «батько» медицини

Україна є провідною країною на світовому ринку зерна з потенціалом експорту, що перевищує 40 млн тонн. Як один із лідерів світового зернового експорту наша держава відіграватиме планетарно значущу роль у забезпеченні їжею і зерновою сировиною постійно зростаючого населення Землі, чисельність якого, за прогнозом, до 2050 р. становитиме 9,1 млрд, а потреба в їжі збільшиться на 70 %. За оцінками Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), щорічне виробництво зернових має зрости до 3 млрд т проти сьогоднішніх 2,1 млрд т [1, 2]. З огляду на це стратегічним завданням агросектору України залишається підвищення продуктивності ключових для національного землеробства сільськогосподарських культур пшениці, кукурудзи та ячменю і поліпшення якості зернової продукції. У здійсненні цього завдання ви-

рішальну роль відіграватимуть новітні сорти і гібриди зернових культур, створені шляхом селекції на основі сучасних генетичних впроваджень.

Якщо в період від 50-х років минулого і до початку нинішнього століття завдяки зусиллям селекціонерів щорічний приріст урожаю пшениці, наприклад в успішній Франції, становив 0,5 ц/га, то нині він суттєво сповільнився. Це свідчить про необхідність інтенсифікації селекції через розширення генетичного різноманіття і впровадження в селекційний процес новітніх досягнень геноміки, протеоміки і метаболоміки, ГМ-технологій, TILLING-технології цілеспрямованих мутацій, CRISPR/Cas-системи редагування геномів, DArT-системи молекулярних маркерів у селекції тощо. Традиційна селекція трансформується сьогодні у MAS-селекцію, або молекулярну селекцію на основі молекулярних маркерів, з широким застосуванням QTLs (локуси кількісних ознак) для контролю комплексу полігенних ознак, з якими переважно працює селекціонер.

Сучасні генні технології в селекції потребують великих фінансових ресурсів, яких сьогодні в Україні бракує. Бюджет окремої вітчизняної селекційної науково-дослідної установи в рази менший, ніж відповідних інституцій на Заході, що не дозволяє на належному рівні виконувати орієнтовані на селекцію високотехнологічні генетичні дослідження. В умовах фінансової скрути єдиним виходом для українських учених залишається кооперація між спорідненими установами в Україні і за кордоном. Матеріали спільних перспективних генетичних досліджень, спрямованих на створення новітніх сортів зернових культур найближчого майбутнього, представлено у цій публікації.

Поряд з урожаєм питанням номер один у селекції зернових культур є якість зерна. Ця складна ознака цілком залежить від біохімічного складу білків і крохмалю зерна, масова частка яких у зернових культурах становить 12—15% і 65—75% відповідно, тобто основну масу зерна. Білкова маса зерна хлібопекарської пшениці крім водо/солерозчинної (15—20%) містить дві інші фракції — мономерні гліадини (40—45%) та високополімерні глютеніни (35—40%), що становлять клас запасних (за їх біологічною функцією) або клейковинних (за їх технологічним використанням) білків. Клейковинні білки утворюють клейковину (35—40% білка + 60—65% води), унікальні реологічні властивості якої визначають хлібопекарську якість пшеничного борошна [3, 4].

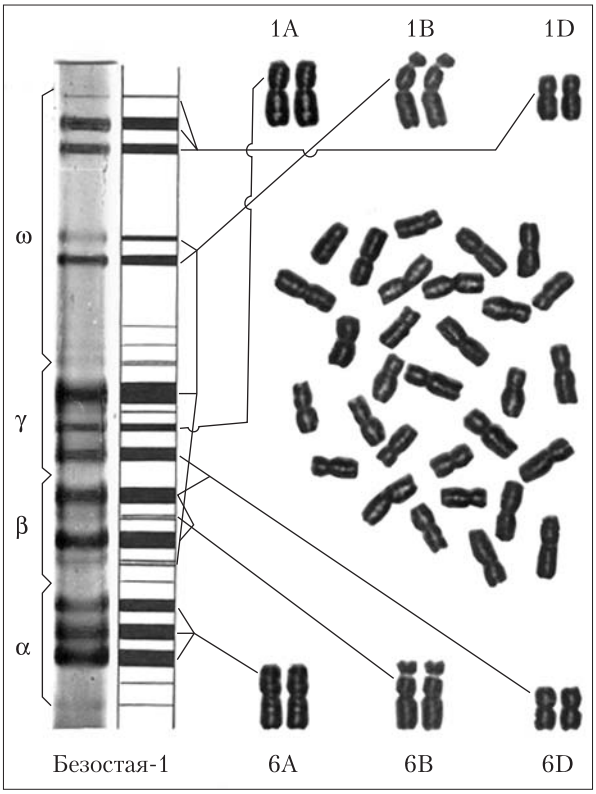


Рис. 1. Генетичний контроль біосинтезу клейковинних білків зерна пшениці — гліадинів локусами хромосом гомеологічних груп 1 і 6 на прикладі сорту пшениці Безоста 1

У сучасній селекції знання генетичного контролю біосинтезу клейковинних білків пшениці є основою цілеспрямованого поліпшення хлібопекарської якості борошна. Перші пріоритетні цитогенетичні дослідження у цьому напрямі було виконано у Селекційно-генетичному інституті (керівник — академік НАН України О.О. Созінов) з використанням гібридологічного, моносомного і телосомного аналізів. У результаті було встановлено, що ге-

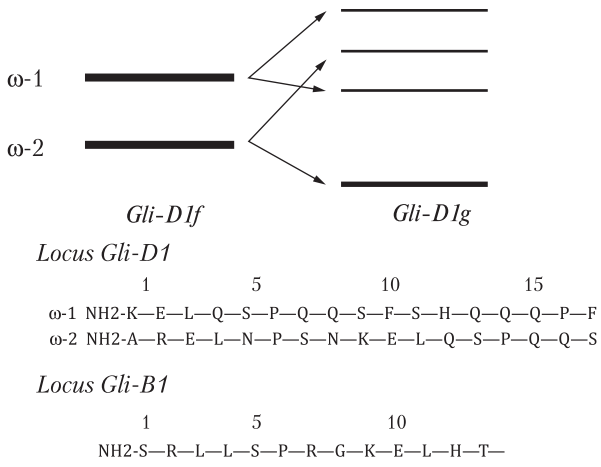


Рис. 2. N-термінальна послідовність амінокислот індивідуальних гліадинів ω-1 та ω-2 алелів ***Gli-D1f*** і ***Gli-D1g*** локусу ***Gli-D1*** порівняно з алелем ***Gli-B1b*** локусу ***Gli-B1***

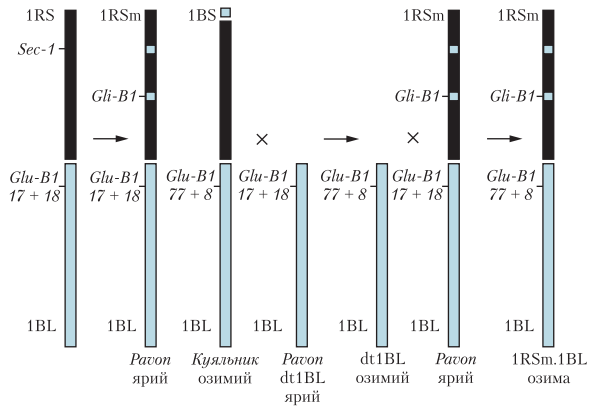


Рис. 3. Схема отримання озимої рекомбінантної лінії **1RSm.1BL(*Glu-B1*77+8 = *al*)** з модифікованої лінії **1RSm.1BL(*Glu-B1*17+18)** ярого сорту Pavon через посередники — озимий сорт Куяльник (донор ***Glu-B1*77+8**) та дітелосомік **dt1BL (*Glu-B1*17+18)** ярого сорту Pavon

нетичний контроль біосинтезу клейковинних білків — гліадинів (найбільш генетично поліморфні білки пшениці) у сортів пшениці здійснюється локусами ***Gli-1*** та ***Gli-2*** у коротких плечах хромосом гомологічних груп 1 і 6 відповідно (рис. 1). Кожний з цих локусів має серію алелів, представлених групою тісно зчеплених при спадкуванні білкових компонентів. Вплив цих алелів на якість клейковини різний: від різко негативного до сильного позитивного.

Шляхом телосомного картування перший гліадин-кодуючий локус ***Gli-B1*** було картовано на короткому плечі хромосоми ***1BS*** дистально, на відстані 42% кросинговеру від центромери. Аналогічні генетичні дослідження було також виконано у Кембриджі (Велика Британія), але на два роки пізніше [5–8].

Наші дослідження первинної N-термінальної послідовності амінокислот білків пшениці, виконані в лабораторії професора Д. Казарди (Західний регіональний науково-дослідний центр, Департамент сільського господарства США), дозволили отримати уявлення про молекулярну організацію локусів ***Gli-D1***, ***Gli-B1***, ***Gli-A2***, що кодують біосинтез гліадинів пшениці, та локусу ***Sec-1*** жита (рис. 2). Було також опрацьовано процедуру ідентифікації пептидів триптичного гідролізу гліадинів, що містять у своїй структурі SH-групи амінокислоти цистеїну, які відіграють стратегічно важливу роль у внутрішньомолекулярній конфігурації та міжмолекулярній агрегації білків клейковини. Ці дослідження дали змогу пояснити причину (відсутність агрегації з пшеничними білками і розчинність у воді) різко негативного впливу на хлібопекарські властивості борошна пшениці білків жита, що кодуються локусом ***Sec-1***, у сортів пшениці з 1RS.1BL-транслокацією [9, 10].

У співробітництві з професором А. Лукашевським (Університет Каліфорнії, Ріверсайд, США) нам удалося отримати генетичну лінію пшениці з хромосомно-інженерною модифікованою житньо-пшеничною 1RSm.1BL-транслокацією, у якої житній локус ***Sec-1*** заміщено на пшеничний ***Gli-B1*** і тим самим генетично еліміновано дефект локусу ***Sec-1*** на хлібопекарську якість борошна пшениці. На основі цієї хромосомної транслокації ми цілеспрямовано отримали рекомбінантну лінію пшениці, в якій у довгому плечі хромосоми ***1BL*** алель ***Glu-B1*****(17+18)** замінений на алель ***Glu-B1al*** з сильним позитивним впливом на хлібопекарські властивості борошна (рис. 3) [11]. Генетична лінія **1RSm.1BL(*Glu-B1*77+8)** активно використовується в Селекційно-генетичному інституті НААН та в Інституті фізіо-

логії рослин і генетики НАН України в селекції пшениці на хлібопекарську якість борошна.

Нам уперше вдалося показати високу ефективність використання житньо-пшеничних транслокацій (у тому числі хромосомно-інженерних) в селекції пшениці на високу продуктивність, екологічну пластичність та стійкість до основних листкових хвороб [12].

Перенесена в геном пшениці хромосомна транслокація від пирію спричинює появу чорного кольору зерна і пов'язане з ним підвищення вмісту в зерні цінних мінералів (у тому числі селену) та рівня його загальної антиоксидантної активності. Цю транслокацію (у китайському сорті Heiliхiaomai 76) ми використовуємо у селекційній програмі зі створення сортів чорнозерної пшениці круп'яного напряму використання з поліпшеною харчовою цінністю зерна [13].

З появою чорнозерної пшениці ми ініціювали новий напрям — створення сортів з високою біологічною якістю (харчовою цінністю зерна). Така пшениця повинна мати високий вміст повноцінного білка, мікроелементів, вітамінів та підвищений вміст резистентного до ферментів травлення крохмалю. Хліб майбутнього має бути збалансованим за всіма біологічно цінними елементами і мати не лише енергетичне, а й профілактично-лікувальне значення, що відзначав свого часу ще Гіппократ, а сьогодні на цьому особливо наголошує сучасна національна програма здорового харчування Франції [14].

Задля розширення генетичного різноманіття за алельним складом ***Gli/Glu*** локусів і поліпшення хлібопекарської якості пшениці за рахунок чужинної генетичної плазми ми використовували у схрещуваннях з культурною пшеницею генетично близькі дикорослі егілопси ендемічний *Ae. cylindrica* (CCDD, $2n = 4x = 28$) та *Ae. tauschii* (DD, $2n = 2x = 14$) як види-донори ключового для хлібопекарської пшениці геному D (рис. 4).

У результаті отримано серію генетичних інтрогресивних ліній пшениці з екзотичними ***Gli/Glu*** алелями від дикорослих видів, що мають позитивний вплив на хлібопекарські

Рис. 4. Донори ключового геному D культурної пшениці дикорослі види егілопси *Ae. cylindrica* (CCDD, $2n = 4x = 28$) (доріжки *2—5*) та *Ae. tauschii* (DD, $2n = 2x = 14$) (доріжки *6—8*); доріжки *1* і *9* — колосся гексаплоїдної пшениці

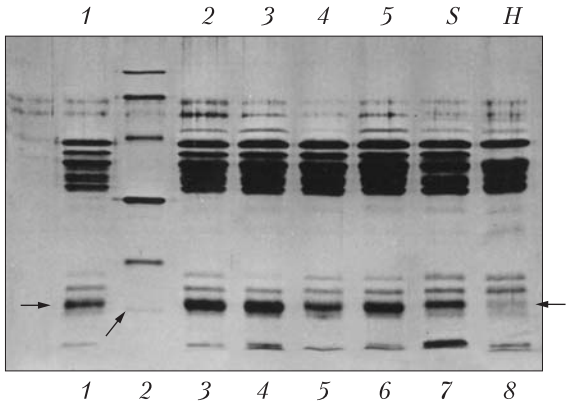


Рис. 5. Електрофореграма білків крохмальних гранул фріабілінів у генотипів пшениці з різною твердістю зерна. Стрілка вказує позицію фріабілінів. Доріжки: *1*, *7* — м'якозерна пшениця (стандарт); *2* — маркери молекулярної маси; *3—6* — екстрам'якозерна пшениця

властивості борошна, а також твердість зерна як важливу борошномельну характеристику. Від схрещувань з *Ae. tauschii* в геном пшениці від дикуна перенесено унікальний чужинний алель гена ***Ha*** (контролює біосинтез білків крохмалю *фріабілінів*), що детермінує екстраекспресію фріабілінів і, відповідно, екстрам'який тип консистенції ендосперму пшениці. Унікальний чужинний алель гена ***Ha*** є генетичною основою для *створення нового для України*

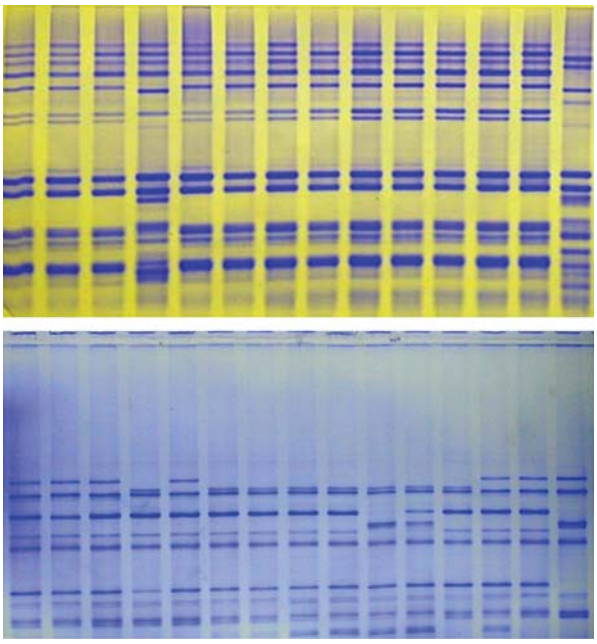


Рис. 6. Електрофореграми міні-електрофорезу (mini A-PAGE) ω-гліадинів (верхній гель) та високомолекулярних глютенінів (mini SDS-PAGE) зерна хлібопекарської пшениці

Рис. 7. Напівавтоматичний мікропроцесорний прилад для визначення хлібопекарської якості борошна пшениці на ранніх етапах селекції методом двохетапної седиментації SDS-30

класу сортів з екстрам'яким (extra-soft) ендоспермом бісквітного (кондитерського) напряму використання (рис. 5).

Геном D м'якої гексаплоїдної хлібопекарської пшениці *T. aestivum* L. (геномна формула AABBDD, $2n = 6x = 42$) є ключовим геномом, що визначає видатні агрономічні характеристики цієї важливої продовольчої культури. Штучно створені гексаплоїдні амфіплоїди-синтетики пшениці з геномною формулою AABBDD, у яких геном D походить від його дикорослого донора егілопсу *Ae. tauschii* (DD, $2n = 2x = 14$), є чи не єдиним джерелом поліпшення (шляхом гібридизації) культурної пшениці за комплексом агрономічних ознак, особливо зернової продуктивності та посухостійкості. Використовуючи цей матеріал у схрещуваннях, ми отримали інтрогресивні селекційні лінії пшениці з урожайністю зерна понад 12 т/га і відмінною хлібопекарською якістю зерна [15].

Для селекції сортів хлібопекарської пшениці з генетично детермінованою високою та екстрависокою хлібопекарською якістю особливо цінними є гени з сильними позитивними ефектами на цю ознаку. У наших селекційних програмах ми використовуємо три унікальних алелі: 1) алель ***Glu-B1al*** **(77+8)** (з екстраекспресією субодиниці 7 високомолекулярних глютенінів), який виник у результаті спонтанної тандемної дуплікації гена, що контролює біосинтез субодиниці 7 [11]; 2) алель ***Glu-D1x5*** зі штучно індукованою екстраекспресією субодиниці 5 високомолекулярних глютенінів; 3) алель ***Glu-A1x2**** зі штучно індукованою екстраекспресією субодиниці 2* високомолекулярних глютенінів [16]. Усі ці алелі локалізовані в різних хромосомах, успадковуються незалежно, легко детектуються за допомогою відповідних функціональних та молекулярних маркерів і комбінуються в одному генотипі, що дозволяє створювати селекційний матеріал пшениці із запрограмованою екстрависокою хлібопекарською якістю борошна.

Що більша вибірка генотипів, з якими працює селекціонер, то вища імовірність успіху у створенні нових сортів з високою хлібопекарською якістю. Лабораторний аналіз великих популяцій (особливо в ранніх поколіннях розщеплення для виділення кращих генотипів) потребує швидких, але водночас надійних методів ідентифікації ***Gli/Glu*** алелів та оцінки їх впливу на якість борошна. Для вирішення цих

завдань ми розробили експрес-методи міні-електрофорезу клейковинних білків гліадинів (mini-A-PAGE) і високомолекулярних глютенінів (mini-SDS-PAGE) (рис. 6) та ефективний двохетапний метод седиментації SDS-30 разом із напівавтоматичним мікропроцесорним приладом для його виконання (рис. 7). *Метод SDS-30 і напівавтоматичний прилад впроваджено в усіх провідних селекційних центрах України*. Застосування комбінації методів міні-електрофорезу та двохетапної седиментації SDS-30 дозволяє практично безпомилково на ранніх етапах селекції вибраковувати неякісний баластний матеріал і добирати цінні генотипи пшениці з генетично детермінованою високою і екстрависокою хлібопекарською якістю борошна.

Харчова (біологічна) цінність зернових злаків, продукти з яких щодня споживає населення України, є першочерговим питанням стратегічного значення, яке, на жаль, залишається поза увагою фундаментальних наукових досліджень у системі державних академій наук. Вміст білка у зерні є першим показником, що лімітує як харчові, так і технологічні характеристики зерна.

Серед колекційних зразків пшениці Ізраїлю нещодавно виявлено дикорослу пшеницю емер *T. turgidum ssp. dicoccoides (Körn) Thell.,* у хромосомі 6B якої ідентифіковано QTL-фактор ***Gpc-B1***, що суттєво підвищує вміст білка та ключових мінералів (Fe, Zn, Mn) у зерні [17, 18]. Цей QTL-фактор (у вигляді 6B хромосомно заміщеної лінії) разом з асоційованими з ним молекулярними маркерами успішно використовується нами в селекційній програмі, спрямованій на підвищення вмісту білка та ключових мікроелементів у зерні пшениці [19].

Крохмаль пшениці є основним інгредієнтом хліба і хлібопродуктів для повсякденного харчування. Крохмаль зернових культур становить 65—70 % маси зерна, складається з двох водонерозчинних гомоглюканів — 25—28 % амілози (лінійний полімер глюкози) та 72—75 % амілопектину (розгалужений полімер глюкози) і використовується як безпосередньо в їжу, так і для переробки у харчовій галузі та промисловості. Співвідношення компонентів крохмалю (амілоза/ амілопектин) для всіх ключових зернових культур має стратегічно важливе як технологічне, так і харчове значення. Це співвідношення регулюється генетично, шляхом часткового чи повного блокування функції ключового ферменту *GBSS* біосинтезу амілози, в результаті чого утворюється крохмаль ваксі з нульовим або мінімальним вмістом амілози, або ж навпаки, підвищенням вмісту амілози до більш ніж 70 % шляхом використання технології РНК інтерференції (RNAi) і блокування функції одного з ключових ферментів *SBEIIa*, відповідального за галуження амілопектину.

Обидві генетичні системи (три гени *Wx* пшениці та тритикале і один ген *Wax* ячменю) ми використовуємо для створення селекційного матеріалу відповідних зернових культур з нульовим вмістом у крохмалі (ваксі) амілози [20]. Пшениця ваксі й тритикале ваксі відрізняються від звичайних пшениці і тритикале високою ферментабельністю і, відповідно, високим виходом етанолу, а тому мають технологічні перспективи використання у кормовій і технічній спирто-дистилятній галузях. Крохмаль ваксі, на відміну від звичайного, є практично на 100 % доступним для засвоєння тваринами, що підвищує кормовий (енергетичний) потенціал зерна. Тому пшениця ваксі є генетичною основою для створення сортів пшениці кормового використання. Крім того, крохмаль пшениці ваксі вже широко використовується за кордоном у харчовій промисловості у вигляді хімічно модифікованого крохмалю, харчових згущувачів. Ячмінь ваксі має підвищений (до 10 %) вміст у зерні β-глюканів (цінна розчинна дієтична клітковина), що істотно поліпшує його харчовий статус.

Генетична система *SBEIIa* пшениці та ячменю використовується нами в селекційних програмах для створення сортів з високим вмістом амілози пшениці (>70 %) та голозерного ячменю (>40 %) [21]. Високоамілозна пшениця і голозерний високоамілозний ячмінь порівняно зі звичайними пшеницею і ячменем мають значно вищий вміст у зерні резистентного до травлення крохмалю. Завдяки цьому загальна

біологічна цінність крохмалю і в цілому зерна значно поліпшується внаслідок суттєвого (до 20—30 одиниць) зниження гліцемічного індексу (швидкість зростання концентрації цукру в крові) як основного показника дієтичної цінності вуглеводистих харчових продуктів. Чим менший гліцемічний індекс, тим нижчий рівень гліцемічного відгуку при вживанні таких продуктів і менша ймовірність розвитку метаболічного синдрому та діабету 2-го типу.

Рецесивний алель гена ***nud*** у ячменю контролює ознаку «голозерність», або відсутність зв'язного ліпідного прошарку між оболонкою зерна і плівкою ячменю, мутантний ген ***lpa-3*** детермінує низький вміст органічного (зв'язаного) фосфору в зерні ячменю, а ген ***wax*** блокує біосинтез амілози і відповідно зумовлює високий вміст цінної в харчовому відношенні розчинної дієтичної клітковини β-глюканів у зерні ячменю. Ця система генів, а також генний комплекс, що контролює біосинтез пігментів зерна з антиоксидантною функцією, впроваджені нами у найбільшу в Україні селекційну програму створення сортів *голозерного ячменю харчового напряму використання* з високим вмістом у зерні білка, β-глюканів, мінерального фосфору, ключових мінералів та високою загальною антиоксидантною активністю зерна. Наші дослідження харчового голозерного ячменю цілком узгоджуються зі світовою тенденцією активного відродження харчового ячменю, який, згідно з даними численних клінічних досліджень останніх 15—20 років, визнано *продуктом функціонального харчування*, що знижує ризик захворювань на найбільш смертоносні патології сучасного людства: коронарну хворобу серця, діабет 2-го типу, рак [22].

Культура тритикале, якій в Україні бракує належної уваги, не поступається або навіть перевершує пшеницю за урожайністю і біологічною цінністю зерна, морозо/зимостійкістю та стійкістю до фітозахворювань. Ця культура невибаглива до умов вирощування [23]. Задля розширення генетичної варіабельності як пшениці, так і тритикале та підвищення їх продуктивності ми використовуємо у схрещуваннях лінію тритикале з хромосомним заміщенням (5B)5D, яке індукує алосиндез (кон'югацію і рекомбінацію) хромосом жита і пшениці. У результаті використання у схрещуваннях хромосомного заміщення (5B)5D ми отримали перспективні селекційні лінії тритикале з морозо/зимостійкістю, значно вищою, ніж у пшениці, урожайністю зерна в межах 14 т/га та виходом абсолютного етанолу при переробці зерна понад 400 літрів.

На підставі виконаних досліджень ми цілком обґрунтовано вважаємо, що культура тритикале, яка сьогодні фактично не має в Україні визначеного напряму технологічного використання, може успішно зайняти нішу *індустріальної спирто-дистилятної переробки для виробництва питного етанолу і біоетанолу та побічного цінного кормового шроту* (вихід 300—330 кг/т зерна; вміст біологічно цінного перетравного протеїну більш як 35%) [26].

Спільно з науковцями інших селекційних установ уперше в Україні на основі спонтанних та індукованих генів карликовості нами створено принципово новий тип напівкарликової пшениці, яка поклала початок «українській зеленій революції» в технології вирощування високих урожаїв цієї економічно і соціально важливої культури.

Новим негативним чинником, який останнім часом визначає рівень продуктивності зернових, стали глобальні зміни клімату. Озимі посіви в останні роки зазнають нищівних ударів жорсткої посухи. Підвищення середньорічної температури на 1 °С призводить до зниження врожайності на 21%. До 2050 р. літо в регіонах, що входять до так званого пшеничного поясу, щороку ставатиме дедалі більш спекотним. Тому стратегічним напрямом у селекції пшениці стало створення високотолерантних до посухи сортів, невибагливих до умов вирощування, універсального агрономічного використання. Ми створили цілу серію сортів, які відповідають цим вимогам [24].

Отже, вперше в Україні нами розроблено біотехнологію селекційного процесу, яка ґрунтується на поєднанні можливостей класичної і молекулярної генетики, що забезпечує радикальне поліпшення пшениці за кількісним

і якісним складом білка, фізичними властивостями крохмалю, вмістом ключових мікроелементів та показниками харчової цінності зерна.

У результаті впровадження у селекційний процес охарактеризованого вище генетичного матеріалу створені нами сорти озимої пшениці і голозерного ячменю занесено до Держреєстру і визнано на державному рівні новими селекційними досягненнями, новизна яких закріплена патентами України, Росії та Молдови. Це такі сорти:

• Перші в Україні сорти екстрам'якозерної пшениці бісквітного напряму використання: червонозерна *Оксана* і білозерна *Білява*. З появою першого сорту білозерної пшениці ініційовано нову селекційну програму створення сортів білозерної пшениці як хлібопекарського, так і кондитерського напрямів використання. Для сортів білозерної пшениці особливо важливою технологічною характеристикою є відсутність потемніння тіста у процесі його замішування і ферментації. Ця ознака контролюється неактивними алелями генів, що кодують біосинтез ферменту поліфенолоксидази (*PPO*), які ретельно контролюються нами (спільно з Інститутом клітинної біології та генетичної інженерії НАН України) у селекційному процесі за допомогою ПРЛ-системи молекулярних маркерів (ПЛР — полімеразна ланцюгова реакція) [25].

• Перші в Україні сорти пшениці ваксі *Софійка* та чорнозерної пшениці поліпшеної харчової цінності *Чорноброва*.

• Перші в Україні сорти напівкарликової пшениці з житньо-пшеничними транслокаціями — *Смуглянка*, *Золотоколоса*, *Фаворитка*, *Астарта* та ін. Це сорти високоінтенсивної групи. Фактичний генетичний потенціал продуктивності високоінтенсивних сортів сягає за 120 ц/га. Уперше за всю історію України сорти *Смуглянка*, *Золотоколоса*, *Фаворитка* і *Астарта* забезпечили одержання рекордного врожаю зерна: 124,0, 125,0, 138,2 і 140,0 ц/га відповідно. Численні базові господарства Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, з року в рік використовуючи зазначені сорти, отримують урожай європейського рівня. Ці сорти створено для інтенсивних агротехнологій і для добрих господарів.

• Сорти озимої пшениці *Наталка*, *Лимарівна*, *Здоба Київська*, *Донор Київський* та ін. є унікальними за якістю, відповідають найвищим стандартам і є відмінними поліпшувачами якості борошняної продукції. Борошно цих сортів варто використовувати на експорт та для випікання хлібних виробів високої якості. Якість зерна є глобальною світовою проблемою, і українська пшениця не повинна поступатися світовим брендам за цими показниками. На жаль, продаж зерна на світових біржах постійно обмежується через нестачу високобілкової пшениці.

• До сортів універсального агрономічного використання належать *Подолянка*, *Богдана*, *Даринка Київська* та ін. Сорти цієї групи забезпечують стабільні врожаї в усіх агрокліматичних зонах України, мають відмінну посухо- і зимостійкість, невибагливі до умов вирощування і є, по суті, страховими сортами. Особливу увагу аграріям варто звернути на сорти *Подолянка* і *Богдана*, які є *неперевершеними за виробничою надійністю*. Ці сорти створено для різних рівнів господарювання, в тому числі для сучасних кризових умов.

• Створено перший в Україні сорт голозерного ячменю харчового напряму використання *Ахіллес*. Таких сортів ячменю раніше в Україні не було.

Значну увагу ми приділяємо впровадженню нових сортів-інновацій у виробництво. На вирощування наших сортів видано понад 3 тис. ліцензій, які щороку обслуговуються насінням.

Загалом по Україні сорти озимої пшениці селекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України висіваються на площі близько 2 млн га, що становить 30 % усіх посівів цієї культури. Це широкомасштабне впровадження.

Валовий збір зерна пшениці наших сортів становить щороку понад 6,8 млн т, що повністю задовольняє потребу України в продовольчому зерні пшениці — 4,6 млн т і є вагомим

внеском у забезпечення продовольчої безпеки нашої країни [27].

Ми першими спільно зі швейцарською компанією Syngenta очолили рух за отримання в Україні європейських урожаїв, заснували «Клуб 100 центнерів», який став своєрідною школою високих урожаїв [28].

Світова тенденція щодо нарощування валових зборів зерна розвивається на основі інтенсифікації виробництва. Підвищення продуктивності пшеничного поля — єдиний шлях зростання валових зборів зерна, альтернативи якому немає. Інакше амбітна мрія України стати світовою житницею залишиться нездійсненною.

Селекціонери України занепокоєні тим, що останнім часом спостерігається активний процес витіснення з виробництва вітчизняних сортів. Національна селекція поступово втрачає свої позиції. Сьогодні для сортів іноземної селекції кордони відкриті. Ми витримуємо жорстку конкуренцію з боку іноземних сортів, які суттєво поступаються нашим сортам за ознаками посухо- і морозостійкості та якості зерна, але м'які зими останніх років сприяють поширенню сортів іноземної селекції. Однак слід пам'ятати, що великі площі під іноземними сортами можуть стати і великою бідою у перший гірший рік із суворою зимою.

Сучасна зарубіжна селекція перейшла на більш ефективний молекулярний рівень, який водночас є високозатратним. Конкурувати з нею вітчизняній селекції стає все складніше. Вартість створення одного сорту за кордоном вже оцінюється у 1,5 млн євро і може зрости у майбутньому в 5—10 разів. Зрозуміло, що таких коштів вітчизняні селекціонери не мають і тому потребують значної фінансової підтримки з боку держави. За відсутності такої підтримки вітчизняна селекція занепадатиме, а без національної селекції не може бути ефективним і сільськогосподарське виробництво, оскільки сортова політика України в такому разі формуватиметься за кордоном. Генетика, селекція, сорт, насіння — це складові національної безпеки України [29].

В умовах фінансової скрути, аби не допустити різкого відставання вітчизняної селекції від світового рівня, необхідно:

• застосувати вибірковий принцип оптимального пріоритетного фінансування в окремих наукових установах, які зберегли достатній науковий потенціал;

• на законодавчому та виконавчому рівнях забезпечити повноту виплат роялті селекційним установам за їх інноваційні розробки;

• у межах чинного законодавства та міжнародного досвіду, з метою залучення внутрішніх і зовнішніх інвестицій у розвиток національної селекції, насінництва та системи сортовипробування ініціювати створення індустріальних, агротехнологічних парків з пільговим режимом оподаткування;

• враховуючи самодостатність національних сортових ресурсів і насінництва окремих культур, використовуючи досвід країн Європейського Союзу, передбачити введення квот на реєстрацію сортів/гібридів та ввезення в Україну насіння іноземної селекції.

У жовтні минулого року з питанням щодо захисту інтересів національної селекції та формування повноцінного рівня виробництва насіння ми звернулися особисто до Прем'єр-міністра України В.Б. Гройсмана. Ці та ряд інших заходів на державному рівні можуть забезпечити виживання і конкурентоспроможність вітчизняної селекції, яка традиційно мала і поки що має сильні наукові школи та успіхи світового рівня.

REFERENCES

1. Schroeder J., Delhaize E., Frommer W., Guerinot M., Harrison M., Herrera-Estrella L., Horie T., Kochian L., Munns R., Nishizawa N., Tsay Y.-F., Sanders D. Using membrane transporters to improve crops for sustainable food production. *Nature*. 2013. **497**(7447): 60.
2. *How to feed the world in 2050?* High-level expert forum. (12—13 October 2009, Rome).
3. Kasarda D., Bernardin J., Nimmo C. Wheat proteins. In: *Advances in Cereal Science and Technology*. (St. Paul, Minnesota: AACC, 1976). P. 158—236.
4. Morel M., Dehlon P., Autran J., Leygue J., Bar L'Helgouac'h C. Effects of temperature, sonication time and power settings on size distribution and extractability of total wheat proteins as determined by size-exclusion high performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*. 2000. **77**(5): 685.
5. Rybalka A.I. Hybridological and monosomic analysis of component composition of gliadin in the varieties of soft wheat T. aestivum. PhD (Biol.) thesis. (Odesa, 1975).
[Рыбалка А.И. Гибридологический и моносомный анализ компонентного состава глиадина у сортов мягкой пшеницы T. aestivum: автореф. ... канд. биол. наук. Одесса, 1975.]
6. Sozinov A.A., Stelmakh A.F., Rybalka A.I. *Russian Journal of Genetics*. 1978. **14**(11): 1955.
[Созинов А.А., Стельмах А.Ф., Рыбалка А.И. Гибридологический и моносомный анализ глиадинов у сортов пшеницы. *Генетика*. 1978. Т. 14, № 11. С. 1955—1967.]
7. Rybalka A.I., Sozinov A.A. *Cytology and Genetics*. 1979. **13**(4): 276.
[Рибалка А.И., Созинов А.А. Картирование локуса *Глд-1В*, контролирующего синтез запасных белков пшеницы. *Цитология и генетика*. 1979. Т. 13, № 4. С. 276—282.]
8. Payne P., Holt L., Worland A., Law C. Structural and genetical studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin. 3. Telocentric mapping of the subunit genes on the long arms of the homoeologous group 1 chromosomes. *Theor. Appl. Genet*. 1982. **63**: 129.
9. Rybalka A.I., Kasarda D.D., Sozinov A.A. *Agricultural Biology*. 1985. (2): 34.
[Рыбалка А.И., Казарда Д.Д., Созинов А.А. R-глиадины — проламины ржи, синтезирующиеся в эндосперме пшеницы. *Сельскохозяйственная биология*. 1985. № 2. С. 34—42.]
10. Rybalka O.I. *Quality of wheat and its improvement*. (Kyiv: Logos, 2011).
[Рибалка О.І. *Якість пшениці та її поліпшення*. Київ, Логос, 2011.]
11. D'Ovidio R., Masci S., Porceddu E., Kasarda D. Duplication of the *Bx7* high-molecular-weight glutenin subunit gene in bread wheat (Triticum aestivum L.) cultivar Red River 68. *Plant Breeding*. 1997. **116**(6): 525.
12. Morgun B.V. *Plant Physiology and Genetics*. 2016. **48**(4): 324.
[Моргун Б.В. Стан та перспективи використання пшенично-житніх транслокацій у селекції озимої м'якої пшениці. *Физиология растений и генетика*. 2016. Т. 48, № 4. С. 324—343.]
13. Nandy S., Chen Q., Li H., Ahmad F., Graf R., Kereliuk G., Sun Sh. Inheritance of grain color controlling genes in diverse wheat crosses using near-infrared spectroscopy. *Int. J. Plant Breeding*. 2009. **3**(1): 52.
14. Hercberg S., Chat-Yung S., Chauliac M. The French National Nutrition and Health Program: 2001—2006—2010. *Int. J. Public Health*. 2008. **53**(2): 68.
15. Rybalka O.I., Morgun V.V., Pochinok V.M. *Plant Physiology and Genetics*. 2012. **44**(2): 95.
[Рибалка О.І., Моргун В.В., Починок В.М. Генетичні основи селекції сортів пшениці за спеціалізацією їх технологічного використання. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2012. Т. 44, № 2. С. 95—124.]
16. Blechl A., Anderson O. Expression of a novel high-molecular-weight glutenin subunit gene in transgenic wheat. *Nature Biotechnol*. 1996. **14**: 875.
17. Cakmak I., Torun A., Millet E., Feldman M., Fahima T., Korol A., Nevo B., Braun H., Ozkan H. Triticum dicoccoides: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil. Sci. Plant Nutr*. 2004. **50**(7): 1047.
18. Uauy C., Brevis J., Dubcovsky J. The high grain protein content gene Gpc-B1 accelerates senescence and has pleiotropic effects on protein content in wheat. *J. Exp. Bot*. 2006. **57**(11): 2785.
19. Stepanenko A.I., Morgun B.V., Rybalka O.I. In: *Biotechnology in crop production, animal husbandry and veterinary medicine*: Proc. XIV Conf. (16 April, 2014, Moscow).
[Степаненко А.И., Моргун Б.В., Рыбалка А.И. Молекулярные маркеры для детектирования в пшенице QTL *Gpc-B1*, перенесенного от *T. dicoccoides*. В кн.: *Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и ветеринарии*: матер. XIV Молодеж. науч. конф. (16 апр. 2014, Москва). С. 50—52.]
20. Morgun B.V., Stepanenko O.V., Stepanenko A.I., Rybalka O.I. Molecular-genetic identification of *Wx* genes polymorphism in wheat hybrids by multiplex polymerase chain reactions. *Plant Physiology and Genetics*. 2015. **47**(1): 25.

[Моргун Б.В., Степаненко О.В., Степаненко А.І., Рибалка О.І. Молекулярно-генетична ідентифікація поліморфізму генів *Wx* у гібридах м'якої пшениці за допомогою мультиплексних полімеразних ланцюгових реакцій. *Физиология растений и генетика*. 2015. Т. 47, № 1. С. 25—35.]

21. Rybalka O.I., Morgun V.V., Morgun B.V. *Plant Physiology and Genetics*. 2017. **49**(3): 250.
[Рибалка О.І., Моргун В.В., Моргун Б.В. Високоамілозна пшениця — шлях до радикального поліпшення харчової цінності зерна. *Физиология растений и генетика*. 2017. Т. 49, № 3. С. 250—258.]
22. Rybalka O.I., Morgun B.V., Polischuk S.S. *Barley as functional food*. (Kyiv: Logos, 2016).
[Рибалка О.І., Моргун Б.В., Поліщук С.С. *Ячмінь як продукт функціонального харчування*. Київ: Логос, 2016.]
23. Rybalka O.I., Morgun V.V., Morgun B.V., Pochinok V.M. Agronomic potential and perspectives of triticale. *Plant Physiology and Genetics*. 2015. **47**(2): 95.
[Рибалка О.І., Моргун В.В., Моргун Б.В., Починок В.М. Агрономічний потенціал і перспективи тритикале. *Физиология растений и генетика*. 2015. Т. 47, № 2. С. 95—111.]
24. Havrylyuk M.M., Oks'om V.P., Havrylyuk V.M. Kiev wheat — the key to success in the hands of the agriculturist. *Nasinnytstvo*. 2015. (7): 1.
[Гаврилюк М.М., Оксьом В.П., Гаврилюк В.М. Київські пшениці — ключ до успіху в руках агронома. *Насінництво*. 2015. № 7. С. 1—22.]
25. Stepanenko A.I., Troyanovska A.V., Morgun B.V., Chugunkova T.V., Velykozhon L.G., Rybalka A.I., Polischuk S.S. Marker analysis of polyphenol oxidase genes (PPO) in bread wheat cultivars. *Plant Physiology and Genetics*. 2014. **46**(6): 490.
[Степаненко А.І., Трояновська А.В., Моргун Б.В. та ін. Маркерний аналіз генів поліфенолоксидази (PPO) у сортах м'якої пшениці. *Физиология растений и генетика*. 2014. Т. 46, № 6. С. 490—497.]
26. Rybalka A.I., Chervonis M.V., Morgun B.V., Pochinok V.M., Polischuk S.S. Genetic and breeding criteria of crop cultivars production for ethanol distilling end-use. *Plant Physiology and Genetics*. 2013. **45**(1): 3.
[Рибалка О.І., Червоніс М.В., Моргун Б.В. та ін. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистилятного напряму технологічного використання зерна. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2013. Т. 45, № 1. С. 3—19.]
27. Morgun V.V. Contribution of genetics and plant breeding to the food security of Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr*. 2016. (5): 20.
[Моргун В.В. Внесок генетики і селекції рослин у забезпечення продовольчої безпеки України. *Вісник НАН України*. 2016. № 5. С. 20—23.]
28. Morgun V.V., Sanin E.V., Schwartau V.V. *Club 100 centners. Modern varieties and systems of nutrition and protection winter wheat*. (Kyiv: Logos, 2015).
[Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. *Клуб 100 центнерів. Сучасні сорти та оптимальні системи живлення й захисту озимої пшениці*. Вип. 9. Київ: Логос, 2015.]
29. Hadzalo Ya.M., Kyrychenko V.V., Dzyubetsky B.V. *The strategy of innovative development of breeding and seed-growing of crops in Ukraine*. (Kyiv, Kharkiv, Dnipro, 2016).
[Гадзало Я.М., Кириченко В.В., Дзюбецький Б.В. *Стратегія інноваційного розвитку селекції і насінництва зернових культур України*. Київ, Харків, Дніпро, 2016.]

Стаття надійшла 06.02.2017.

V.V. Morgun [1], O.I. Rybalka [2]

[1] Institute of Plant Physiology and Genetics of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)
[2] Plant Breeding and Genetics Institute - National Centre of Seed and Cultivars Investigation (Odesa)

STRATEGY OF CEREALS GENETIC IMPROVEMENT AIMED
AT FOOD SAFETY, HEALTH PROMOTION AND INDUSTRY NEEDS

The article presents results of researching new genes and genetic systems related to biochemical, nutritional, grain processing properties of wheat, triticale and barley aimed at special end-use varieties development.

Keywords: grain storage proteins, amino acid sequence, electrophoresis, PCR, functional and molecular chromosome markers, bread-making and nutritional quality, QTL-factor *Gpc-B1*, amylose, chromosome translocations, genes extra-expression, fermentability, β-glucan, varieties.