

УДК 575.24:631.528:633.15

ОЗНАКИ ЯКОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ТА МЕТОДИ ЇХ ПОЛІПШЕННЯ

К.А. ЛАРЧЕНКО, Б.В. МОРГУН

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

Узагальнено результати досліджень ознак якості зерна пшениці та їх поліпшення методами експериментального мутагенезу, генетичної трансформації і класичної селекції. Наведено відомості про мутантні сорти озимої пшениці вітчизняної селекції.

Ключові слова: злаки, озима пшениця, генетичні джерела якості, білок, клейковина, хлібопекарські властивості.

Одним із головних напрямів у селекції зернових культур є поліпшення якості зерна, яка визначається вмістом білків, сирової клейковини, крохмалю, жирів, цукрів, незамінних амінокислот, вітамінів, мінеральних сполук і тісно пов'язана з такими ознаками, як продуктивність, тривалість вегетаційного періоду, стійкість до хвороб і шкідників.

Останнім часом попит на продовольчу пшеницю у світі зростає. В Україні виробляють лише 10—12 % продовольчої пшениці, решта — кормова. Підвищення виробництва високоякісної пшениці — завдання державного рівня.

Якість зерна пшениці є однією з найскладніших генетично обумовлених селекційних ознак, які досліджують учені багатьох країн світу. В Україні науково-дослідні роботи з генетичного поліпшення якості зерна злаків широко проводять у Селекційно-генетичному інституті НААН України (Одеса) [10, 11, 16—18] та інших установах.

Найважливішим показником якості зерна є хлібопекарські властивості виготовленого з нього борошна. Провідна роль у визначенні хлібопекарської якості борошна належить білкам, вміст яких у зерні пшениці залежить від сорту та умов вирощування культури і становить у середньому 9,0—15,0 %. Серед білків пшениці розрізняють альбуміни, глобуліни, гліадини, глютеніни залежно від їх здатності розчинятись у воді, сольових розчинах, спирті та лугах. До альбумінів і глобулінів входять ферменти, структурні білки, білки клітинних стінок і мембран, клітинних органел тощо.

Гліадини і глютеніни належать до класу запасних або клейковинних білків. Вміст альбумінів і глобулінів становить 15—20, гліадинів — 40—50, глютенінів — 35—40 % загального вмісту білка [45].

Близько 80—85 % загального вмісту білка в зерні — це білки клейковини. Гліадини впливають на такі важливі якості тіста, як в'язкість і розтяжність, глютеніни — на еластичність і пружність. Глютеніни здатні до полімеризації і за молекулярною масою поділяються на низькомоле-

кулярні (30—50 кД) та високомолекулярні (60—100 кД і більше) у співвідношенні 6 : 1.

Амінокислотний склад білків має чітко виражену специфічність. Це пояснюють їх функціональним навантаженням і тим, що вони є джерелом азоту при проростанні зернівок. Високий вміст таких амінокислот, як глутамін і пролін, зумовлений участю певних білків у важливих метаболічних процесах рослин. Запасні білки не є функціонально активними і містять малу кількість таких незамінних амінокислот, як лізин, гістидин, аргінін, аспарагін, глутамін.

Запасні білки з ферментативною функцією визначають якість та генетично обумовлений рівень хлібопекарських і технологічних властивостей пшеничного борошна.

Вивчення генетичного контролю запасних білків злаків можливе лише за умови їх розділення на окремі поліпептиди, які контролюються окремими алелями генів. Для фракціонування білків використовують електрофоретичні методи, за допомогою яких виявлено надзвичайно високу біохімічну гетерогенність білків пшениці.

Аналізом електрофоретичного складу гліадинів і глютенінів показано, що основою генетичного різноманіття сортів пшениці є явище множинного алелізму генних локусів, які контролюють біосинтез цих клейковинних білків [19]. Біохімічним аналізом фракцію гліадинів було поділено на 4 субфракції: α , β , w , j . Гени, що їх кодують, локалізовані в коротких плечах хромосом гомеологічних груп 1 і 6. Методами двовимірного електрофорезу білки зерна пшениці розділено більш як на 200 окремих субодиниць і поліпептидів [15, 37].

Із використанням анеуплоїдних ліній сорту Чайніз Спринг доведено, що фракція високомолекулярних глютенінів, яка найбільшою мірою визначає якість зерна, контролюється генами, локалізованими в довгих плечах, а низькомолекулярних — у коротких плечах хромосом гомеологічної групи 1 [41]. Пізніше було складено карти локалізації генних локусів, які кодують синтез клейковинних білків пшениці гліадинів і глютенінів на хромосомах 1A, 1B, 1D, 6A, 6B, 6D [47].

Високі хлібопекарські якості пшениці визначаються вмістом окремих компонентів глютенінів. У процесі формування зернівки найпершими, через 13 діб після запилення, виявляються субодиниці, що кодуються локусами Glu-D1 і Glu-B1. Субодиниця, що кодується локусом Glu-A1, утворюється пізніше. Початок формування однакових компонентів у різних сортів пшениці різний. Через 20 діб після запилення починається стрімке накопичення глютенінів, яке досягає піку на 28—31-шу добу після запилення, причому накопичення високомолекулярних глютенінів, що кодуються локусом Glu-D1, є найбільшим [58]. Із локусом Glu-D1 пов'язані середні й високі показники випічки хліба в результаті збільшення еластичності тіста [23]. Так, в одному генотипі за 10 років селекції було скомбіновано субодиниці 5 і 10 високомолекулярних глютенінів (Glu-D1), пов'язаних з поліпшенням фізичних властивостей тіста. Відсутність субодиниці 20 (Glu-B1) значно ослаблює ці властивості [54].

Багато сортів із добрими хлібопекарськими якостями є носіями алеля Glu-D1d, що контролює високомолекулярні глютеніни. Шляхом бекросів він інтрогресований у геном 4 провідних комерційних сортів пшениці Японії. Отримано майже ізогенні лінії, кращі за вихідні рекурентні сорти, однак рівня донора вони не досягли. Щоб добитись балансу між силою і розтяжністю тіста, японські вчені для інтрогресії використовують західноканадські зразки надсильних пшениць.

Значний вплив на розтяжність тіста чинить алель Glu-B1. Так, електрофоретичним і хроматографічним аналізом глютенінів низки сортів гексаплоїдної пшениці Нової Зеландії і Канади, утім числі канадських надсильних пшениць, у родоводі яких є аргентинський сорт Klein Universal із дуже розтяжним тістом, виявлено алель Glu-B1a1 і вищу частку високомолекулярних глютенінів (56,8 %). Загалом експресію більшості високомолекулярних глютенінів контролює В-геном [56].

Дослідження з виявлення нових алелів генів, які контролюють синтез глютенінів і гліадинів, проводять учені багатьох країн світу. Так, у зерні високоякісних китайських пшениць виявлено високомолекулярні субодиниці глютенінів LGlu12, LGlu1, HGlu1, HGlu7+8, LGlu10, LGlu9, HGlu5+10, LGlu15. Субодиницями, які знижують якість зерна, є Lglu5, Lglu13s, Lglu7 [50].

Якість зерна китайських сортів гексаплоїдних пшениць (*T. aestivum* L.) залежить від якості клейковини, що визначається бажаними D- і небажаними U-генами. Розроблено метод клонування цих генів, що уможливує введення потрібних із них у геном нових сортів. Клоновано і секвеновано 5'-ділянки генів високомолекулярних субодиниць глютеніну [43, 57].

Клоновано і схарактеризовано нові гени глютенінів Glu-D3 і Glu-A3 м'якозерного сорту Norin 61, виділених із незрілого насіння, які є низькомолекулярними і негативно впливають на силу борошна м'якої пшениці [35]. Однак якість зерна визначають не лише високомолекулярні глютеніни. Виділено гени низькомолекулярних субодиниць глютеніну LMW – M₁, M₃, M₅, особливістю останнього є вміст додаткового залишку цистеїну на C-кінці, що зумовлює більшу еластичність тіста і вищу якість борошна [24].

Показано, що вміст глютенінів у батьківських форм і гібридів різних комбінацій дуже відрізняється. Успадкування вмісту глютенінів відповідає адитивно-домінантній моделі і контролюється в основному адитивними генами. Рецесивні алелі обумовлюють збільшення вмісту глютеніну [34].

За 100-річний період у результаті вивчення змін спектрів гліадинів у ході селекції на поліпшення господарсько-цінних ознак у наборах сортів озимої м'якої та ярої твердої пшениць поряд зі зміною частот окремих компонентів виявлено тенденцію до зменшення загальної кількості компонентів [1].

У Франції вивчено основну колекцію з 372 представників, яка відтворювала різноманітність світових сортів хлібних пшениць і була використана для оцінювання доступної генетичної різноманітності агрономічних і якісних показників. У колекції зібрано як 200-річні, так і нові сорти та місцеві популяції [26]. Такі дослідження важливі для з'ясування зв'язків між комплексом морфологічних та інших ознак, які впливають на якість зерна. Оцінювання проводили за 3 групами ознак, таких як ріст і розвиток рослин, якість зерна та хлібопекарські властивості.

У результаті детального вивчення колекції найістотніші відмінності виявлено серед стародавніх зразків, значні відмінності серед рідкісних алелів сортів були усунені сучасною селекцією. У стародавніх сортах більший вміст пальмітинової кислоти, значніше варіювання реологічних властивостей тіста. Сучасні сорти характеризуються вищим вмістом крохмалю, зокрема сорти Західної Європи бідніші на білок і збагачені крохмалем. Середній вміст білка в зерні сортів пшениць Франції у 2006 р.

становив 12,2 %, 80 % сортів містили від 11,5 до 13,0, а 11 % сортів — понад 13,0 % білка. У зерні основної колекції світових зразків вміст білка коливався від 10,9 до 19,2 % [26]. Спрямована селекція на конкретні ознаки є однією з причин звуження різноманіття генетичної плазми культурних рослин.

Для досягнення якісного стрибка в селекції на високу продуктивність і якість зерна пшениці необхідно створити новий тип рослин, який би об'єднав в одному генотипі такі від'ємно корелюючі ознаки, як висока продуктивність і якість зерна з комплексною стійкістю до хвороб і шкідників. Результативність селекції на якість багато в чому залежить від наявності генетичних джерел, які сконцентровані у світових колекціях генофонду.

Джерелами селекційно-цінних ознак є елітна зародкова плазма злаків, що зберігається в національних генетичних банках і колекціях, міжвидові та міжродові гібриди, індивідуальні клоновані гени рослин. Так, колекція генетичного банку Брауншвейга (Німеччина) налічує сотні тисяч зразків. Із 1985 р. банк надає місцевим і закордонним користувачам 129 тис. зразків насіння і посадкового матеріалу [33]. Генофонд німецьких пшениць є цінним джерелом високої продуктивності і широко використовується в багатьох країнах Європи, зокрема в Австрії та Швеції, однак більшість із них разом з високою продуктивністю мають такі негативні ознаки, як низька якість зерна, слабкі холодо- й посухостійкість і здебільшого є пізньостиглими.

У Китаї за останні 20 років створено мережу збереження зародкової плазми різних культур, у тім числі злаків. Вона включає Національний генетичний банк довготривалого зберігання насіння і дублювальні банки, 8 Національних генетичних банків середньострокового зберігання, 30 Національних польових генетичних банків, 2 Національні генетичні банки *in vitro* і 3 Національні банки *in situ*. У банку довготривалого зберігання є насіння понад 334 тис. зразків [44]. Генофонд китайських сортів злаків широко залучається до схрещування з районованими вітчизняними сортами з метою створення нового селекційного матеріалу.

Зародкова плазма культур, що розмножуються насінням, у Канаді налічує 113 тис. зразків 850 видів рослин. Канадські пшениці є одними з найкращих у світі [27]. В Італії для зберігання зернових колосових у генетичних банках зібрано зразки 55 видів рослин. Багата на генетичні ресурси Північна Італія [40]. Широка різноманітність генофонду пшениць зберігається у генетичних банках Великої Британії, де останнім часом селекція озимої пшениці більше спрямована на якісні ознаки, ніж на кількісні [31, 32]. Сорти з колишньої Югославії вирізняються ранньостиглістю, продуктивністю, комплексною стійкістю до борошнистої роси та листової бурі іржі, однак, як і італійські, незимостійкі, з невисокою якістю зерна. Як генетичні джерела для селекції цікавими є сорти селекції Чехії та Словаччини. Відомий сорт Kosatka — найбільш скоростиглий і посухостійкий у Чехії, характеризується короткостебловістю, високою урожайністю, доброю якістю зерна [3].

Використання в Україні угорських сортів як генетичних джерел має давню історію. Завезений з Угорщини сорт Банатка був найурожайнішим і став родоначальником знаменитого сорту Українка 0246. У давнього угорського сорту пшениці Bankuti 1201 ідентифіковано мутацію гена, що забезпечив високі хлібопекарські якості борошна. Тривалий час залишалась загадкою невідповідність між алельним складом його високомолекулярних гліутенінів і високою якістю борошна. Як з'ясувалось зго-

дом, у його геномі відбулася точкова мутація — заміна цитозину на гуанін у триплеті генетичного коду. Це спричинило заміну амінокислотного залишку серину на цистеїн у білковій молекулі глютеніну, що, у свою чергу, поліпшило фізичні властивості клейковини [38]. Кілька нових генів глютенінів виділено у ліній, закладених на цьому сорті, який є носієм багатьох невідомих генів запасних білків [46]. За останні 30 років в Угорщині створено й районовано високопродуктивні короткостеблові сорти: GK Fertodi, GK Fertodi 2, GK Fertodi 3, Lupo, MV 4, GK 7750, GK 7753, Kiszombori 2, що характеризуються високою посухостійкістю, стійкістю до хвороб, однак мають низькі технологічні якості [13].

Підвищені показники якості зерна щодо вмісту клейковини і білка мають такі добре відомі сорти озимої пшениці, як Донська напівкарликова [5] та Альбатрос одеський. Одним із перших короткостеблових сортів озимої пшениці в Україні з високими показниками якості зерна і доброю продуктивністю став сорт Киянка, виведений академіком НАН України В.В. Моргуном на основі мутації, індукованої дією діетилсульфату на насіння пшениці сорту Миронівська ювілейна [8]. Цим сортом, який був районований у 1981 р., започатковано новий напрям досліджень — мутаційна селекція озимої пшениці на короткостебловість і якість зерна.

При поліпшенні якості злакових культур вкрай актуальною проблемою для селекціонерів багатьох країн світу є виявлення існуєчих і створення нових генетичних джерел цінних ознак.

Слід зазначити, що такі джерела серед світового генофонду елітної зародкової плазми дуже обмежені, більшість із них непристосовані до кліматичних умов, нестійкі до хвороб і шкідників, поширених на території України. Так, серед занесених у Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2009 р., за якістю зерна 100 сортів озимої пшениці належить до сильних, 55 — до цінних, а сортів, які віднесені до надсильних пшениць, не зареєстровано [2]. Такі обставини потребують створення власного генофонду на основі вдосконалення існуючих та розробки нових методів.

Як генетичні джерела для поліпшення якості зерна озимої пшениці використовують такі сорти, як Панна, Куяльник, Селянка, Скарбниця, Подолянка, Ремеслівна, Альбатрос одеський, Ніконія, Повага, Коломак 5, Донецька 46 (Україна), Донська остиста, Ростовчанка, Спартанка, Юна (Росія), Фундуля 5 (Румунія) та ін.

Учені створюють нові та поліпшують існуючі генетичні джерела злаків із використанням мутацій, трансгресій та індивідуальних генів, які вводять у геном методами генетичної інженерії, біотехнології, молекулярної селекції.

Методи експериментального мутагенезу та генетичної трансформації у генетичному поліпшенні якості зерна злаків. Мутації — це спадкові зміни в генотипі, що виникають несподівано і спричиняють зміни морфологічних, фізіологічних та біохімічних ознак організмів. Розширення спадкової мінливості, добір оригінальних мутацій і рекомбінацій, поєднання мутаційної і комбінаційної мінливості — основні методи збагачення генофонду. Показано, що під впливом мутагенних чинників частішає кросинговер, з'являються рідкісні трансгресивні комбінації, зміщується домінування ознак, змінюються ефекти взаємодії генів, що сприяє повнішій реалізації потенційної спадкової мінливості.

Методом експериментального мутагенезу встановлено, що найперспективнішими за селекційним значенням є мутанти, отримані на сортах із високими потенціалом продуктивності та якістю зерна.

Так, після дії мутагеном азидом натрію у поєднанні з гамма-опроміненням на сорти Момчил, Победа, Катя болгарської селекції було відібрано перспективні лінії озимої пшениці з високими якістю зерна та потенціалом продуктивності [14].

За дії нітрозоетилсечовини на насіння озимої пшениці отримано мутанти зі змінами в глютеніновому комплексі. Методом електрофорезу у спектрі локусу Glu-B1 ідентифіковано такі зміни: замість субодиниць 7 і 9, які були у вихідної форми, у мутантної форми з'явилася нова субодиниця. Нова мутантна форма характеризувалась більш розвиненим габітусом рослин, широкими листками, великим колосом, більшою твердістю зерна [53].

Після обробки насіння дигаплоїдної лінії пшениці Yі 4212 пульсівним пучком N^+ -іонів отримано мутантну популяцію, що включала 60 ліній. Виявлено широкий спектр спадкової мінливості морфологічних ознак, у тім числі електрофоретичні зміни у спектрі W-гліадину. Окремі субодиниці гліадину зникали, нові з'являлись. У 25 локусах мутантних ліній доволі часто виявлялись делеції та інші зміни. У результаті гамма-опромінення ^{60}Co насіння озимої пшениці отримано яру мутацію [59].

На основі індукованих мутацій створено колекції зразків озимої та ярої пшениці з підвищеним вмістом білка і клейковини в зерні, силою борошна й об'ємним виходом хліба більшими, ніж у вихідних форм, виділено мутанти з вищими показниками суми незамінних амінокислот, каротину, іншими цінними ознаками [4, 9, 12].

Ефективним у розширенні спадкової мінливості та добору нових селекційних форм із поліпшеною якістю зерна пшениці є поєднання методів експериментального мутагенезу і генетичної трансформації, що підтверджують результати, отримані зокрема в Китаї. Насіння 4 сортів пшениці опромінювали пульсівним пучком іонів N^+ і занурювали в розчин ДНК сої. В дослідних варіантах виявлено форми, що містили у зерні до 21,4 % білка за його вмісту у вихідних сортів 14—14,7 %. Автори вважають, що трансформація пшениці ДНК сої через посередника — пучок низькоенергетичних іонів є ефективним методом індукції змінених форм із підвищеним вмістом білка [29].

Доведено, що в разі застосування мутагенних чинників є висока ймовірність індукції окремих мутацій по конкретному гену або групі генів, які контролюють якісні показники. Так, сферокоїдний фенотип у *Triticum aestivum* L. виникає внаслідок мутаційних змін в одному з 3 локусів — S1, S2, S3, які локалізовані в коротких плечах хромосом третьої гомеологічної групи. Поява сферокоїдних мутантів пов'язана з дуплікацією групи тісно зчеплених генів, що успадковуються монофакторіально. У цих мутантів підвищений вміст білка і клейковини в зерні, вони є важливими донорами в селекції на якість [7].

Ефективна трансформація генетичного матеріалу пшениці з отриманням фертильного покоління вперше здійснена в 1992 р. [55]. Після введення через пилкову трубку сорту м'якої пшениці Jihe 916 ДНК сорго в покоління було виявлено зразки зі зміненим забарвленням насіння та вищим вмістом білка, амінокислот, мінеральних речовин і розчинного цукру, ніж у вихідного сорту. RAPD-аналізами й електрофорезом гліадину підтверджено інтеграцію екзогенної ДНК в геном реципієнта [51]. Трансформація пшениці генами високомолекулярних субодиниць глютенінів підвищує якість запасних білків зерна в отриманих трансформантів [42]. Розроблено систему трансформації незрілих зародків на основі мікробом-

бардування з використанням плазмід. Отримані форми озимої пшениці стійкі до гербіцидів, мають вищу якість зерна. Серед них 14 трансгенних ліній пшениці з геном вівса, що кодує глютаміноподібний білок [21].

На основі ефективних методів трансформації за участю агробактеріальних систем створено не лише стійкі до гербіцидів форми, а й форми з високоякісним зерном (лінії L 88-31, 72-8-116, 102-1-2) [49]. Розроблено й запропоновано ефективний метод отримання трансгенних рослин пшениці *Triticum aestivum* L. на основі *Agrobacterium*-опосередкованої трансформації незрілого насіння пшениці, що значно спростило сам процес трансформації, виключило трудомісткий процес отримання калюсу. Частота трансформації при цьому становить 9,6 % [20].

Дослідження з удосконалення методів експериментального мутагенезу і генетичної трансформації дають змогу значно розширити спектри спадкової мінливості.

Генетичне поліпшення якості зерна методами класичної селекції. Для поліпшення якості зерна широко використовують класичні методи селекції: самозапилення, гібридизацію та добір.

Так, на основі гібридної комбінації від схрещування двох контрастних за якістю і продуктивністю сортів пшениці отримано 131 лінію (B_8), які випробовували в однакових умовах для оцінювання 18 показників якості зерна, висоти рослин і 4 компонентів урожаю. Показано, що ключові характеристики якості (час стабільності тіста, седиментація та ін.) і параметри крохмалю корелювали з урожайністю неістотно, що вказує на можливість поєднання високого урожаю з доброю якістю борошна для випікання хліба. Збільшення клейкості і сили клейковини супроводжувалось зменшенням маси 1000 зернин і зростанням кушистості [61].

У результаті схрещування *T. dicoccoides* з *T. aestivum* отримано 128 ліній, з яких 17 мали масу 1000 зернин на 5 г більшу, а вміст білка — на 4 % вищий, ніж у *T. aestivum*. 5 ліній поєднували обидва показники [30].

У ранніх F_1 — F_4 поколіннях основними критеріями оцінювання показників якості в селекції пшениці та добору є твердозерність, забарвлення зерна, сила клейковини, якщо можливо — здійснюють добір за активністю поліфенолоксидаз, синтаз та субодиницями глютеніну. Хлібопекарські якості та реологічні властивості оцінюють, починаючи з F_5 і до впровадження сорту у виробництво [52].

Виявлено істотну кореляцію між склоподібністю зерна в F_3 і вмістом білка в зерні F_4 . Добір у ранніх поколіннях за склоподібністю зерна в подальшому може привести до суттєвого підвищення вмісту білка [36].

Доведено, що в разі схрещування сортів озимої пшениці середньої і низької технологічної якості із сортами сильних пшениць якість клейковини в F_1 успадковується за депресивним типом. На прикладі сильних пшениць Одеська 161 і Одеська 267 показано, що насичувальні схрещування з цими сортами поліпшують якість клейковини у гібридів і зміщують успадкування цієї ознаки в бік материнської форми, в разі насичення сортом Московська 39 ознака залишається депресивною. Як вважають автори, це засвідчує необхідність науково обґрунтованого добору сортів як джерел якості зерна при схрещуванні. У популяції F_2 за широкого розмаху мінливості отримано трансгресії як позитивні, так і негативні [22].

Для поліпшення якості зерна пшениць використовують транслокації, які вносять значні зміни в кількісний і якісний склад білків клей-

ковини. В однакових умовах вирощування у 3 транслокованих сортів (1В/1R-транслокація) і 2 сестринських ліній сорту Amadeus вміст білка, глутаміну і цистеїну майже не залежав від наявності транслокації, але вона зумовила зміни w- та j-гліадинів і низькомолекулярних глютенінів: вміст гліадинів істотно зростає, а низькомолекулярних глютенінів — знижувався. Об'єм хліба зменшився майже на 10 %, скоротився час утворення тіста, а розтяжність — підвищилась. Реологічні якості тіста були більш пов'язані з вмістом глютенінів, ніж із вмістом гліадинів [60].

Для поліпшення якості зерна злакових культур важливим є вивчення кореляцій між ними. Найвищі коефіцієнти кореляції між вмістом білка і такими реологічними властивостями тіста, як час стабільності (0,83) і розм'якшення (0,61), виявлено у дослідях на 24 селекційних лініях і 2 контрольних сортах. Ознака об'єм хліба не корелювала з більшістю характеристик зерна, борошна і тіста [28].

Тісний взаємозв'язок показників якості та продуктивності зерна з її елементами підтверджено у праці [6]. Можливість одночасного підвищення вмісту білка й урожаю зерна невисока ($r = 0,128$) [39]. Позитивну кореляцію природи зерна з масою 1000 зернин відмічено в умовах високої вологості та знижених температур. Однак такі технологічні властивості, як натура зерна, склоподібність, здатність поглинати воду і сила борошна, не пов'язані з урожаєм. Селекція на ці властивості може бути результативною, оскільки вони залежать насамперед від генетичних особливостей сорту. Водночас треба враховувати, що такі ознаки, як вихід борошна та його якість, значною мірою залежать від агрофону.

Під час аналізу зерна 80 зразків озимої пшениці різної якості, які оцінювали за 10 показниками, виявлено позитивний зв'язок між об'ємом седиментації, показами фаринографа і числом падіння. Вміст білка у зерні позитивно корелював із твердістю зерна та вмістом сирової і сухої клейковини у борошні — відповідно 0,74 і 0,76 [25]. Отже, добір на збільшення вмісту білка приводить до збільшення вмісту клейковини, але інші показники якості істотно не поліпшує.

Найважливішими показниками, за характеристиками яких селекціонери можуть найефективніше комбінувати вміст білка та його якість, є сила і розтяжність клейковини, які визначаються складом глютенінів і гліадинів. Селекція із залученням молекулярних маркерів і біотехнології здатна істотно прискорити селекційний прогрес. Об'єднання зусиль селекціонерів у накопиченні бажаних генів допоможе знизити ефект взаємодії генотип — середовище та поліпшити якість зерна злакових культур.

В Інституті фізіології рослин і генетики НАН України методами експериментального мутагенезу, класичної селекції із залученням молекулярних маркерів за останні роки створено понад 30 сортів озимої пшениці, які умовно розділено на такі групи: короткостеблові високоінтенсивні, середньорослі універсального використання та спеціального використання.

Короткостеблові високоінтенсивні сорти. Лідер групи — сорт Смуглянка, який є національним стандартом, стійкий до вилягання, борошнистої роси, бурі та листової іржі, на оптимальних фонах мінерального живлення формує стабільний за роками урожай зерна відмінної якості, добре реагує на поліпшення мінерального живлення, стійкий до стікання і проростання зерна в колосі. До цієї групи належать також сорти Володарка, Золотоколоса, Колумбія, Фаворитка. Генетичний потен-

ціал продуктивності 115—124 ц/га. За високого фону мінерального живлення ці сорти дають рекордні врожаї. Вони створені для високих технологій. Сорти цієї групи — унікальні: врожаї сорту Смуглянка 100—115 ц/га отримано у 17 сортодільницях Державного випробування цього сорту.

Сорт Золотоколоса високостійкий до вилягання, з добрими борошномельними і хлібопекарськими якостями, стійкий до посухи. Фактичний генетичний потенціал продуктивності — 100—117 ц/га.

Середньорослі сорти універсального використання. Лідер групи — сорт Подолянка, який є національним стандартом. Дає стабільні та високі врожаї зерна високої якості в усіх зонах України, невибагливий до умов вирощування, має високу посухостійкість. До цієї групи належать сорти Добірна, Богдана, Вінничанка, Ятрань 60, Переяславка, Снігурка, Трипільська, Новокиївська, Сонечко, Наталка.

Сорт Сонечко стійкий до хвороб, посухостійкий, має високу якість зерна. Генетичний потенціал продуктивності — понад 100 ц/га.

Новий сорт Наталка як поновлення дуже відомого вітчизняного сорту Українка містить 15,0—16,0 % білка і 32,0—34,0 % клейковини. У Державний реєстр сортів рослин для поширення в Україні занесено, як сильні з більш високим вмістом білка, такі сорти озимої пшениці: Подолянка, Переяславка, Сонечко, Наталка, Добірна, Богдана та ін. Сорт Ласуня належить до надсильних пшениць. За даними Державної служби з охорони прав на сорти рослин, сорт Ласуня за вирощування в різних природно-кліматичних зонах України (Полісся, Лісостеп, Степ) характеризується вмістом білка 15,0—15,4 %, клейковини — 30,1—33,2 %, показник *W* становить 366—418 одиниць альвеографа, об'єм хліба — 1100—1180 мл.

Сорти спеціального використання. В Україні такі сорти створено вперше. Сорт Пивна — це пшениця спеціального призначення для виготовлення пива, печива, кексів, рекомендується на корм птиці, за потреби — для виготовлення біопалива.

Вперше на основі нових мутантних і мутантно-рекомбінантних ліній академік НАН України В.В. Моргун створив принципово нове покоління сортів озимої пшениці, які несуть у геномі цінні транслокації, що надає їм високої екологічної пластичності та стійкості до зовнішніх чинників довкілля, вони поєднують ранньостиглість із високою продуктивністю. Створено принципово нові озимо-ярі сорти пшениці Зимоярка, Хуторянка, які успішно конкурують за продуктивністю з національними стандартами озимої пшениці. Ці сорти поєднують у собі гени озимості й яровості, їх можна висівати восени і навесні. У зв'язку з нестабільністю перезимівлі озимих пшениць і низьким урожаєм ярої пшениці Україна потребує таких сортів.

Отже, основним напрямом досліджень у селекції на якість є створення високоврожайних сортів, які б поєднували високі продуктивність та якість зерна, головними показниками якої є вміст білка, пружність клейковини, сила борошна, об'єм хліба, загальна хлібопекарська оцінка. І лише за спільних зусиль генетиків, селекціонерів, молекулярних біологів і господарників, які забезпечуватимуть реалізацію генетичного потенціалу створених сортів і гібридів, у нашій країні зросте виробництво продовольчого зерна злакових культур.

1. Агафонов В.С., Велибеков М.Д. Влияние селекции на микроэволюцию глатинов пшеницы // Материалы конф., посвященной 100-летию научной селекции в России (9—11 дек., 2003, Москва). — М., 2003. — С. 25—26.

2. *Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні.* — 2009.
3. *Дорофеев В.Ф.* Пшеницы мира. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 456 с.
4. *Жоги А.Ф., Зима В.Г., Букреева Г.И.* К вопросу об улучшении питательной ценности зерна озимой мягкой пшеницы // С.-х. биология. Сер. Биология растений. — 2001. — № 5. — С. 31—36.
5. *Копылов Е.А.* Проблемы «стекания» и селекция озимой мягкой пшеницы // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. — 1984. — **84**. — С. 23—27.
6. *Лихенко И.Е.* Связь генов Rpd с некоторыми количественными признаками растений мягкой пшеницы в условиях Северного Зауралья // Успехи соврем. естествознания. — 2003. — № 9. — С. 70.
7. *Мельник В.М.* Генетическая природа и биохимические особенности сферококкоидных мутантов мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. // 2-й съезд Вавилов. об-ва генетиков и селекционеров (1—5 февр., 2000, Санкт-Петербург): Тез. докл. — Т. 1. — СПб., 2000. — С. 115—116.
8. *Моргун В.В., Логвиненко В.Ф.* Мутационная селекция пшеницы. — Киев: Наук. думка, 1995. — 627 с.
9. *Моргун В.В.* Спонтанна та індукована мутаційна мінливість і її використання в селекції рослин // Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть. — К.: Логос, 2001. — Т. 2. — С. 144—174.
10. *Попереля Ф.А.* Генетическая связь показателей качества муки мягкой пшеницы с различиями по компонентному составу глиадины, глютеина и консистенции эндосперма // Науч.-техн. бюл. ВСГИ. — 1986. — Вып. 61. — С. 18—23.
11. *Попереля Ф.А.* Полиморфизм глиадины и его связь с качеством зерна, продуктивностью и адаптивными свойствами сортов мягкой пшеницы // Селекция, семеноводство и интенсивная технология возделывания озимой пшеницы. — М.: ВО «Агропромиздат», 1988. — С. 138—150.
12. *Поползухина Л.А., Рутц А.И., Кротова Л.А.* Индуцированный мутагенез и гибридизация в решении проблемы качества зерна // Докл. Рос. акад. с.-х. наук. — 2006. — № 3. — С. 3—4.
13. *Рабинович С.В.* Современные сорта пшеницы и их родословные. — Киев: Урожай, 1972. — 325 с.
14. *Рачовска Г., Мънгова М.* Обогащаване на генетичните ресурси за продуктивност и качество при зимната обикновена пшеница чрез експериментален мутагенез // Растиниевд. науки. — 2001. — **38**, № 7—10. — С. 302—305.
15. *Рыбалка А.И.* Гибридологический и моносомный анализ компонентного состава глиадины у сортов мягкой пшеницы *T. aestivum*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Одеса, 1975. — 26 с.
16. *Рыбалка О.И.* Генетичне поліпшення якості пшениці: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук. — Одеса, 2009. — 44 с.
17. *Рыбалка О.И., Червоніс М.В., Литвиненко М.А.* Генетична гетерогенність сортів пшениці одеської селекції за алейним складом Gli/Glu-локусів // Вісн. аграрної науки. — 2008. — № 2. — С. 54—59.
18. *Сиволап Ю.М., Чеботарь С.В., Рыбалка А.И.* Молекулярно-генетический анализ интродукции чужеродного генетического материала в геном *T. aestivum* // Цитология и генетика. — 1995. — **29**, № 2. — С. 37—45.
19. *Созинов А.А., Стельмах А.Ф., Рыбалка А.И.* Гибридологический и моносомный анализ глиадинов у сортов пшеницы // Генетика. — 1978. — **14**, № 11. — С. 1955—1960.
20. *Степанова А.Ю., Терешонок Д.В., Осипова Е.С. и др.* Получение трансгенных растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.) методом агробактериальной трансформации // Биотехнология. — 2006. — № 2. — С. 20—27.
21. *Филиппов М.В., Мирошниченко Д.С., Славохотова Ф.Ф., Долгов С.И.* Разработка системы трансформации и получение форм пшеницы (*Triticum aestivum* L.), устойчивых к гербицидам // Достижения науки и техники АПК. — 2004. — № 1. — С. 10—12.
22. *Шестопалов И.О., Шестопалова Р.Е., Нетребенко Н.Н.* Селекция озимой мягкой пшеницы на качество зерна в условиях юго-запада ЦЧЗ // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. — 2006. — **5**. — С. 38—40.
23. *Ahmad M.* Molecular marker-assisted selection of HMW glutenin alleles related to wheat bread quality by PCR-generated DNA markers // Theor. Appl. Genet. — 2000. — **101**, N 5—6. — P. 892—896.
24. *An X., Zhang Q., Yan Y. et al.* Cloning and molecular characterization of three novel LMW-i glutenin subunit genes from cultivated einkorn (*Triticum monococcum* L.) // Theor. Appl. Genet. — 2006. — **113**, N 3. — P. 383—395.
25. *Vona L., Matuz J., Acs E.* Correlation between screening methods and technological quality characteristics in bread wheat // Cereal Res. Communic. — 2003. — **31**, N 1—2. — P. 201—204.

26. Bordes J., Brandlard G., Oury F.X. et al. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheats in a worldwide core collection composition // *J. of Cereal Sci.* — 2008. — **48**, N 3. — P. 569–579.
27. Buchwaldt L., Richards K.W. Plant gene resources of Canada and the Canadian plant germplasm system // *Can. J. Plant Pathol.* — 2004. — **26**, N 1. — P. 48–51.
28. Ceglinska A., Cacak-Pietrzak G., Haber T. et al. Wspolzależności pomiędzy cechami jakościowymi rodow pszenicy ozimej // *Biul. Inst. hod. i aklim. rosl.* — 2003. — N 230. — P. 65–70.
29. Chang Shouwei, Cheng Yuhong, Qin Guangyong et al. Research on the distant hybrids of wheat obtained via low-energy ion-beam implantation // *Plasma Sci. and Technol.* — 2003. — **5**, N 3. — P. 1821–1824.
30. Chu Chenggen, Feng Yigao, Chen Peudi. The transference of the traits large kernel and high seed protein content from *T. dicoccoides* into common wheat // *J. Nanj. Agricult. Univ.* — 2001. — **24**, N 2. — P. 16–19.
31. Dale P. J. Public-good plant breeding. What should be done next? // *J. Commer. Technol.* — 2004. — **10**, N 3. — P. 199–208.
32. Donini P., Law J.R., Koebner R.M.D. et al. Temporal trends in the diversity of UK wheat // *Theor. Appl. Genet.* — 2000. — **100**, N 6. — P. 912–917.
33. Frese L. Plant genetic resources—source of the breeding progress // *Beitr. Zuchtungsforsch.* — 2002. — **8**, N 1. — P. 4–13.
34. Gao Ru-yong, Yang Xue-ju, Liu Gui-ru. Genetic model analysis on the content of glutenin macropolymer in wheat // *J. Agr. Univ. Hebei.* — 2002. — **25**, N 1. — P. 1–12.
35. Ikeda T.M., Nagamine T., Fukuoka H., Yano H. Identification of new low-molecular-weight glutenin subunit genes in wheat // *Theor. Appl. Genet.* — 2002. — **104**, N 4. — P. 680–687.
36. Iriki N. Inheritance and selection effectiveness of glassiness and protein content in winter wheat // *Hokkaido nogyo shikenjo kenkyu hokoku = Res. Bull. Hokkaido Nat. Agr. Exp. Stat.* — 1998. — N 166. — P. 67–76.
37. Jackson E., Holt L., Payne P. Characterisation of high-molecular-weight gliadin and low-molecular-weight glutenin subunits of wheat endosperm by two-dimensional electrophoresis and the chromosomal location of their controlling genes // *Theor. Appl. Genet.* — 1983. — **66**. — P. 29–37.
38. Juhasz A., Tamas L., Karsai I. et al. Identification, cloning and characterization of HMW-glutenin gene from an old Hungarian wheat variety Bankuti 1201 // *Euphytica.* — 2001. — **119**. — P. 75–79.
39. Kadar R., Moldovan V. Achievement by breeding of winter wheat varieties with improved bread-making quality // *Cereal Res. Communic.* — 2003. — **31**, N 1–2. — P. 89–95.
40. Laghetti G., Perrino P., Cifarelli S. et al. Collecting plant genetic resources in Italy, 2001 // *Plant Genet. Res. Newsl.* — 2003. — N 136. — P. 23–30.
41. Lawrence G., Shepherd K. Chromosomal location of genes controlling seed proteins in species related to wheat // *Theor. Appl. Genet.* — 1981. — **59**. — P. 25–31.
42. Lin Hong-bo, Liu Yun-ying, Li Wei-qi. The development of wheat high-molecular-weight glutenin subunits (HMW-GS) and their genes // *Xibeizhiwu xuebao = Acta Bot. Boreali-Occident. Sin.* — 2002. — **22**, N 4. — P. 1025–1029.
43. Li Ting, Zhang Wen-ju, Lu Bao-rong et al. An evolutionary analysis of the high molecular weight glutenin subunit genes in the A, B and D genome donors of wheat // *Fudan xuebao. Ziran kexue ban = J. Fudan Univ. Natur. Sci.* — 2002. — **41**, N 5. — P. 596–598.
44. Li Xinxiong, Chen Xiaoling. Progress of conservation and research of crop germplasm resources in China // *Zhongguo nongye kexue = Sci. Arg. Sin.* — 2003. — **36**, N 10. — P. 1125–1132.
45. Morel M., Dehlon P., Autran J.C. et al. Effect 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 Chem.* — 2000. — **77**, N 5. — P. 685–691.
46. Nagy I.J., Takacs I., Tamas L., Bedo Z. Molecular cloning and characterization of low-molecular-weight glutenin sequences from an old Hungarian wheat variety, Bankuti 1201 // *Cereal Res. Communic.* — 2003. — **22**, N 1–2. — P. 25–31.
47. Payne P., Holt L., Jackson E. et al. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* — 1984. — **304**. — P. 359–371.
48. Pena R.J., Trethowan R., Pfeiffer W.H., Ginkel M. Quality (end-use) improvement in wheat: Compositional, genetic, and environmental factors // *J. Crop. Prod.* — 2002. — **5**, N 1–2. — P. 1–37.
49. Shewry P.R., Jones H.D. Transgenic wheat: where do you stand after the first 12 years? // *Ann. Appl. Biol.* — 2005. — **147**, N 4. — P. 1–14.
50. Shu-jun G., Ling-qin X., Jing-hua W. et al. Studies on relations between the low molecular weight glutenin subunits and agronomic and quality traits in common wheat // *J. Agr. Univ. Hebei.* — 2002. — **25**, N 3. — P. 6–9.

51. *Song Wei, Sun Lan-zhen, Zhao Ai-hong, Liu Qing.* Nutrition qualitative analysis and verification of colorful wheat variant offsprings produced by exogenous DNA introduction // Xibei zhiwu xuebao = Acta Bot. Boreali-Occident. Sin. — 2004. — **24**, N 6. — P. 966—970.
52. *Souza E.J., Graybosch R.A., Guttieri M.J.* Breeding wheat for improved milling and baking quality // J. Crop. Prod. — 2002. — **5**, N 1—2. — P. 39—74.
53. *Sveg M., Gregova E., Miclovicova E.* Changes in expression of HMW glutenins of wheat induced by nitrosoethylurea // Plant Breed. — 1999. — **118**, N 3. — P. 272—279.
54. *Takata K.* Breeding for bread-making quality of winter wheat // Wheat Inf. Serv. — 2003. — N 96. — P. 36—37.
55. *Vasil V., Castillo A.M., Fromm M.E., Vasil I.K.* Herbicide resistant fertile transgenic wheat plants obtained by microprojectile bombardment of regenerable embryonic callus // Biotechnology. — 1992. — **10**. — P. 667—674.
56. *Vawser M.-J., Comish G.B.* Over-expression of HMW glutenin subunit Glu-B1 7x in hexaploid wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) // Aust. J. Agr. Res. — 2004. — **55**, N 5. — P. 577—588.
57. *Wang Dao-wen, Qu Le-qing, Jia Xu et al.* Understanding and manipulating the genetic basis of protein quality in chinese wheat: Strategies and current experiments // Yichuan = Hereditas. — 2001. — **23**, N 1. — C. 45.
58. *Wang Yart, Wang Fang, Zhao Hui, Wang Xian-ze.* Formation and accumulation of different HMW-GS in wheat // Xibei zhiwu xuebao = Acta Bot. Boreali-Occident. Sin. — 2004. — **24**, N 7. — P. 1233—1236.
59. *Wang Yun-bo, Wang Xiao-bo, Chen Guo-yue, Lin Pei-xia.* Study on mutating winter wheat into spring wheat and selecting NONG DA 94118 // Foshan kexue xuebao. Ziran kexue ban = J. Foshan Univ. Natur. Sci. Ed. — 2002. — **20**, N 1. — P. 60—63.
60. *Wieser H., Kieffer R., Lelley T.* The influence of 1B/1R chromosome translocation on gluten protein composition and technological properties of bread wheat // J. Sci. Food Agr. — 2000. — **80**, N 11. — P. 1640—1647.
61. *Zhao Yan, Li Si-shen, Hong-ming et al.* Correlation analysis of quality traits and yield traits using recombinant inbred lines (RIL) population in wheat // Xibei zhiwu xuebao = Acta Bot. Boreali-Occident Sin. — 2004. — **24**, N 7. — P. 1227—1232.

Отримано 16.03.2010

ПРИЗНАКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И МЕТОДЫ ИХ УЛУЧШЕНИЯ

Е.А. Ларченко, Б.В. Моргун

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований признаков качества зерна пшеницы и их улучшение методами экспериментального мутагенеза, генетической трансформации и классической селекции. Представлены сведения о мутантных сортах озимой пшеницы отечественной селекции.

WHEAT GRAIN QUALITY TRAITS AND METHODS OF THEIR IMPROVEMENT

K.A. Larchenko, B.V. Morgun

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

The paper provides overview of theoretical and experimental data on wheat grain quality traits as well as their improvement by the means of experimental mutagenesis, genetic transformation and classical breeding techniques. The information on mutant winter wheat cultivars of Ukrainian selection is provided.

Key words: *Triticum aestivum* L., wheat, genetic sources of quality, protein, glutenin, baking characteristics.