

УДК 633.16:631.527

АГРОНОМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ І ПЕРСПЕКТИВИ ТРИТИКАЛЕ

О.І. РИБАЛКА^{1, 2}, В.В. МОРГУН², Б.В. МОРГУН^{2, 3}, В.М. ПОЧИНОК²

¹Селекційно-генетичний інститут—Національний центр насіннезнавства та сортовивчення Національної академії аграрних наук України
65036 Одеса, Овідіопольська дорога, 3

²Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

³Інститут клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України
03143 Київ, вул. Академіка Заболотного, 148

Подано огляд сучасного стану й наведено результати експериментальних досліджень авторів стосовно генетичного поліпшення та господарського використання тритикале. Численні дані світової науки і практики засвідчують перспективи розширення виробництва й використання нової цінної культури для задоволення продовольчих і кормових потреб, а також технічної переробки зерна тритикале.

Ключові слова: тритикале, виробництво зерна, харчова цінність, напрями селекції, біоетанол.

Тритикале (*X Triticosecale* Wittmack) — вперше цілеспрямовано й успішно створений людиною міжвидовий гібрид нової зернової культури. Науковий звіт про отримання гібрида між пшеницею (*Triticum* sp.) і житом (*Secale* sp.) представив ботанік Вільсон у 1875 р. на з'їзді ботаніків в Единбурзі (Шотландія) [34]. Зразки тритикале, що мали селекційну перспективу, вперше створив у 1888 р. німецький селекціонер Римпай [28]. Отже, селекційна історія культури тритикале на сьогодні налічує вже понад 135 років. Площі посівів тритикале у світі перевищують 3 млн га. Лівову їх частку займають сорти гексаплоїдного тритикале ($2n = 42 = AABBRR$) або амфіплоїду, що походить від первинного схрещування тетраплоїдної пшениці ($AABB$) і диплоїдного жита (RR). Створення гібрида між пшеницею і житом мало за мету комбінування в новій культурі високої зернової продуктивності і хлібопекарської якості пшениці та невибагливості й високої стійкості жита до абіотичних чинників середовища. Однак перші сорти тритикале виявилися занадто далекими від бажаного ідеалу. Рослини були дуже високі, характеризувались поганим вимолотом колоса, низькою фертильністю, мали зморшкувате зерно з низькою натурою, поганою хлібопекарською якістю і підвищеним вмістом антипоживних речовин. Із цих причин тритикале не могло конкурувати з пшеницею та житом у харчовому напрямі використання й від самого початку створення було зорієнтоване переважно як фуражна культура, призначена для вирощування на ґрунтах із низькою родючістю та лімітованим зволоженням. За понад вікову історію завдяки зусиллям селекціонерів таких провідних країн світу, як США, Канада, Мексика,

Австралія, Польща, Німеччина, тритикале набуло статусу конкуренто-спроможної і перспективної культури, напрями технологічного використання його зерна розширились.

За даними Міжнародного центру СІММУТ (табл. 1, рис. 1), який і на сьогодні залишається світовим лідером у селекції тритикале, із середини 1970-х років створено понад 300 сортів тритикале у 30 країнах світу і кількість їх стабільно зростає. Це означає, що тритикале набуває популярності у світі як культура кормового, харчового й технічного напрямів технологічного використання зерна [31]. Із 1985 р. урожаї його зерна щорічно зростали в середньому на 100 кг/га, тоді як урожаї кукурудзи, рису, пшениці та ячменю за цей самий період — відповідно лише на 45, 39, 28 і 21 кг/га.

У табл. 1 наведено дані світового виробництва зерна тритикале урожаю 2013 р. Ми навмисно вказали першу двадцятку країн-виробників тритикале та перелік країн-лідерів із виробництва зерна цієї культури. Четверте і п'яте місця посідають сусідні з нами країни — Білорусь та Росія. На жаль, України немає в цьому переліку ані серед двадцятки, ані серед тридцятки країн-виробників тритикале. Такий неприємний факт дає підстави докорінно переглянути статус культури тритикале в нашій державі, чому, сподіваємось, сприятиме і ця стаття.

Сьогодні, як і раніше, тритикале залишається культурою переважно фуражного використання. Воно характеризується активним накопичен-

ТАБЛИЦЯ 1. Виробництво зерна тритикале у світі за даними урожаю 2013 р. [5]

Країна	Рейтинг	Виробництво зерна, т
Світ загалом		14 595 262
Польща	1	4 273 027
Німеччина	2	2 609 000
Франція	3	2 031 998
Білорусь	4	1 272 709
Російська Федерація	5	581 542
Угорщина	6	458 530
Китайська Народна Республіка	7	455 000
Литва	8	451 100
Іспанія	9	393 700
Румунія	10	245 027
Австрія	11	224 141
Чехія	12	214 207
Австралія	13	171 211
Сербія	14	163 874
Бразилія	15	122 002
Туреччина	16	118 000
Чилі	17	116 368
Швеція	18	111 700
Данія	19	74 400
Швейцарія	20	50 424

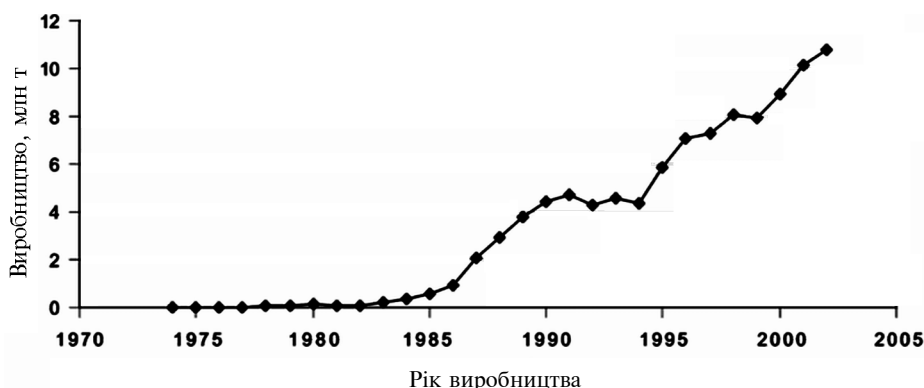


Рис. 1. Динаміка зростання виробництва зерна тритикале у світі [31]

ням листково-стеблової маси, тому може використовуватися на корм як у вигляді зеленої маси, силосу чи сінажу, так і у формі зерна. Сучасні сорти тритикале відрізняються від старих значно ліпше виповненим зерном, вищим вмістом крохмалю й відповідно вищим рівнем метаболічно засвоюваної енергії. Зерно цієї культури за індексом твердості належить до м'язозерної категорії, воно має нижчу твердість, ніж зерно хлібопекарської пшениці та ячменю, тому потребує менших енергетичних затрат під час його переробки на корм для тварин [33].

Загалом зерно тритикале переважає зерно кукурудзи і пшениці як за вмістом білка, так і за його кормовою цінністю. Вміст незамінних амінокислот лізину і треоніну в білку тритикале вищий, ніж їх вміст у білку пшениці й кукурудзи (табл. 2). Слід наголосити, що амінокислота лізін є лімітуючим чинником усіх традиційних раціонів для свиней.

ТАБЛИЦЯ 2. Порівняння складу та енергетичної цінності зерна тритикале, пшениці і кукурудзи (за [33])

Показник	Тритикале	Кукурудза	Пшениця
Вміст, %			
білка	12,0	8,5	11,5
лізину	0,40	0,24	0,34
сирої клітковини	2,8	2,2	2,4
клітковини, розчинної в			
кислотах	3,8	2,8	3,5
нейтральних розчинниках	12,7	9,6	11,0
олії	1,8	3,8	1,8
кальцію	0,05	0,02	0,05
фосфору	0,33	0,25	0,33
Метаболізована енергія, ккал/кг, у			
свиней	3200	3350	3350
великої рогатої худоби	3180	3180	3180
птиці	3200	3400	3210
Загальна перетравлюваність для жуйних тварин, %	79	80	79

Потенціал енергії зерна тритикале, що може бути метаболізованою, для нежуйних тварин (свині, птиця) становить 95—100 % відносно зерна пшениці і кукурудзи. Потенціал метаболізованої енергії зерна тритикале для жуйних тварин цілком зіставний із зерном пшениці й кукурудзи.

Вміст мінералів у зерні тритикале загалом не відрізняється від пшениці, але вищий, ніж у зерні кукурудзи. У типовому випадку 40—50 % фосфору, що міститься в зерні тритикале й пшениці, доступний (засвоюваний) для тварин, тоді як фосфор зерна кукурудзи засвоюється лише на 20—30 %. Це означає, що при складанні раціонів для годівлі тварин, коли одним із компонентів є тритикале, потрібно добавляти менше преміксів, які містять фосфор [21].

До 1975 р. у фахових публікаціях траплялися повідомлення про те, що деякі складові зерна тритикале можуть відігравати роль антипоживних речовин, або антинутрієнтів. У сучасних сортах тритикале вміст таких антипоживних речовин у зерні, як некрохмалисті полісахариди (пентозани) та інгібітори протеаз, не вищий, ніж у зерні більшості інших злаків, а їх вплив на ріст і розвиток тварин неістотний [4]. Можливий виняток із цього переліку — антипоживний ефект пентозанів зерна на травну систему птиці, яка є доволі чутливою до вмісту пентозанів у кормі. Відомо, що пентозани, які містяться в зерні пшениці та жита, також негативно впливають на процес травлення й засвоєння деяких нутрієнтів зерна цих культур. Отже, ґрунтуючись на даних сучасних досліджень, можна вважати, що зерно тритикале як компонент корму для тварин не містить жодних антипоживних речовин. Згідно з результатами цих самих досліджень, зерно сучасних тритикале є прекрасним кормом у змішаних зернових раціонах, особливо для такої категорії тварин, як свині [13—18]. У зерні цієї культури вищий вміст незамінної амінокислоти лізину, ніж у зерні кукурудзи чи сорго, тому ним можна успішно замінити не лише зерно кукурудзи, а й навіть частку такого джерела протеїну, як соєвий шрот у типових кукурудзяно-соєвих кормосумішах для всіх категорій свиней. Оскільки в зерні тритикале вищий вміст лізину в білку, фермери, які складають раціони для свиней на його основі, економлять як соєвий шрот, так і білкові премікси. Приклади раціонів для годівлі свиней на основі тритикале наведено в табл. 3. Їх розраховують на основі вмісту не протеїну в зерні, а лімітуючої амінокислоти лізину, за вмістом якої тритикале переважає інші зернові культури.

Вміст сирого протеїну в раціонах з інгредієнтом тритикале завжди вищий, ніж у раціонах на основі кукурудзи за однакового вмісту в них лізину. Як уже зазначалось, у зерні тритикале вищий, ніж у зерні кукурудзи, вміст доступного фосфору. Це дає змогу на раціонах із тритикале економити 2,5 кг/т корму дикальційфосфату порівняно з раціонами на основі кукурудзи. Метаболізована енергія сучасних сортів тритикале для свиней становить 95—100 % цього показника в кукурудзи. Зерно тритикале в кормосуміші має бути середньоподібним.

Зерно тритикале є прекрасним збалансованим кормом також і для птиці. Як уже зазначалося, птиця чутливіша, ніж свині й велика рогата худоба до вмісту в зерні некрохмалистих полісахаридів пентозанів. Пентозани в зерні пшениці знижують метаболічно засвоювану енергію корму для птиці на 5—10 %, а в зерні жита — ще більше [25, 26]. Пентозани спричинюють розлади травної системи птиці, що проявляється у виділенні слизу та ненормального липкого посліду при дефекації. Антипоживний ефект пентозанів тритикале для птиці легко усунути додаван-

ТАБЛИЦЯ 3. Приклади раціонів для свиней на основі тритикале [14]

Інгредієнт	Маса тварини, кг		
	20–50	50–80	80–110
Подрібнене тритикале, %	74,25	82,75	90,00
44 %-й соєвий шрот, %	22,50	15,00	8,00
<i>Базова суміш</i>			
дикальційфосфат, %	1,25	0,75	0,625
вапняк подрібнений, %	1,00	1,00	0,875
сіль, %	0,50	0,25	0,25
вітамінно-мінеральний премікс, %	0,50 100	0,25 100	0,25 100
<i>Склад раціону</i>			
протеїн, %	18,8	16,5	14,4
лізин, %	0,96	0,77	0,60
кальцій, %	0,75	0,62	0,55
фосфор, %	0,64	0,53	0,48
Метаболізована енергія, ккал/кг	3150	3170	3200

ням до корму ферментного препарату ксиланази, таким чином, зерно тритикале не міститиме жодного антипоживного чинника.

Численними дослідженнями підтверджено, що зерно тритикале може успішно замінювати кукурудзу чи сорго і в раціонах для жуйних тварин [9, 20].

Порівняно з пшеницею тритикале формує значно потужнішу вегетативну масу і може використовуватися на зелений корм, силос чи сінаж та для випасання худоби. Для отримання зеленої маси створено спеціальні безості сорти тритикале.

Однак, розглядаючи цю культуру переважно як кормову, слід також зазначити, що вона має перспективу і як об'єкт харчового використання. Зерно тритикале розмелюється в борошно за технологічною схемою, прийнятою для зерна пшениці. Перші його сорти мали довге, погано виповнене зерно і відповідно низький вихід сортового борошна низької зольності. З прогресом селекції істотно підвищено фертильність тритикале, усунуто зморшкуватість зерна. Сучасні його сорти мають задовільно виповнене зерно та вихід борошна при помелі не нижчий, ніж із сучасних сортів пшениці [29]. За даними СІММУТ, одним із практичних шляхів збільшення виходу борошна при помелі є використання зерносумішей пшениця + тритикале у співвідношенні 75 : 25. При цьому вихід білого сортового борошна практично не відрізняється від його виходу із зерна пшениці, а харчова цінність такого борошна поліпшується (табл. 4).

Борошно тритикале поступається пшеничному за хлібопекарськими властивостями через низький вміст клейковини, низьку «силу» борошна та високу альфа-амілазну активність. Однак хлібопекарська якість борошна тритикале залежить від сорту і може бути цілком задовільною, особливо у разі застосування спеціальної технології випічки, що передбачає низьку швидкість замісу тіста та скорочену процедуру ферментації [32].

Задовільну якість хліба із різних його сортів можна отримати з борошносумішей пшениця + тритикале, де частка борошна останнього мо-

ТАБЛИЦЯ 4. Вихід і зольність борошна із зерна пшениці, тритикале та зерносуміші пшениця + тритикале (75 : 25) [24]

Зразок	Вихід, %			Зола, %
	відходів	висівок	борошна	
Пшениця				
твердозерна	8,64	12,72	74,55	0,48
напівтвердозерна	10,02	14,33	71,69	0,42
Тритикале				
напівтвердозерне	13,90	17,07	64,70	0,55
м'якозерне	11,92	16,42	67,53	0,53
Зерносуміші				
ТП + НТТ	8,15	13,32	74,06	0,47
ТП + МТ	8,21	15,29	72,26	0,51
НТП + НТТ	9,83	13,74	71,94	0,46
НТП + МТ	8,12	13,94	74,88	0,48

П р и м і т к а: ТП — твердозерна пшениця; НТТ — напівтвердозерне тритикале; МТ — м'якозерне тритикале; НТП — напівтвердозерна пшениця.

же сягати 40 %. Особливо перспективним є використання борошно-сумішей пшениця + тритикале у разі дуже «міцного» тіста пшениці. Згідно з експериментальними даними, хліб із борошно-сумішей (від 30 до 50 %) має вищу якість, ніж зі 100 % борошна пшениці [19]. Борошно окремих сортів тритикале цілком прийнятне для виготовлення певних сортів локшини, особливо продуктів здорового харчування, що мають високий вміст клітковини [22].

Висока активність альфа-амілази тритикале відіграє позитивну роль при його використанні для осолоджування і пивоваріння. Загалом воно має вищу екстрактивність та діастатичну активність солоду, ніж ячмінь (табл. 5).

За хімічним складом зерно тритикале подібніше до зерна пшениці, а не жита. Особливістю білків його зерна є підвищений вміст критичної з погляду повноцінного харчування амінокислоти лізину до 4,0 г/16 г N, тоді як у зерні пшениці він становить 2,7–2,8 г/16 г N. Ще однією важливою відмінністю хімічного складу зерна тритикале є висока розчинність його білків порівняно з білками зерна пшениці (табл. 6).

З даних табл. 6 видно, що вміст солерозчинних білків (альбуміни + + глобуліни) у борошні тритикале значно вищий, ніж у борошні пшениці. І навпаки, вміст не розчинних у NaCl та клейковинних білків у борошні пшениці істотно вищий порівняно з тритикале. З одного боку, це означає, що борошно тритикале поступається пшеничному за хлібопекарськими властивостями, а з іншого — переважає його за біологічною цінністю білків, оскільки розчинні білки доступніші порівняно з нерозчинними для засвоєння організмом людини і тварин. Поліпшити низькі хлібопекарські якості борошна тритикале можна за допомогою житньо-пшеничних хромосомних транслокацій у геномі R тритикале, зосередившись на маніпуляції з генами, що кодують біосинтез клейковинних білків пшениці і жита [11].

АГРОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРИТИКАЛЕ

ТАБЛИЦЯ 5. Порівняння фізичних і хімічних характеристик солоду ячменю і тритикале [27]

Зразок	Солод		Діастатична активність, град	Амілаза	
	Втрата, %	Екстракт, %		Я (еквівалент мальтози)	а (20° одиниць)
Ячмінь					
Dickson	8,0	76,6	115	361	30,4
Proline	8,9	77,6	98	308	26,6
Hembar	7,8	71,6	68	222	15,3
Тритикале					
6Т204	9,7	78,8	253	804	62,9
6Т208	9,3	75,1	252	822	58,2
6Т209	11,2	77,9	231	704	66,0
6450-3-1	14,4	78,8	180	517	61,6
Rosner	10,2	82,4	140	422	45,6
6714	8,7	80,4	184	806	42,8
6804	8,7	80,8	173	558	44,7
6437-6	12,4	82,6	137	469	25,2
6450	12,3	81,9	161	483	50,8

ТАБЛИЦЯ 6. Розчинність білків у 0,5 М розчині NaCl та вміст клейковинних білків у борошні пшениці, тритикале і жита (за [27])

Борошно	Вміст білків, %		
	розчинних у NaCl	не розчинних у NaCl	клейковинних
Пшениці	17,7	78,2	78,5
Тритикале	32,4	65,6	50,5
Жита	36,7	63,0	–

У зерні тритикале підвищена активність ферменту альфа-амілази і, як наслідок, воно виявляє тенденцію до передзбирального проростання. Ця його особливість є одним із важливих чинників, що лімітує використання для хлібопекарських цілей. Разом з тим тритикале має високу генетичну варіабельність за толерантністю до передзбирального проростання зерна, що дає можливість селекціонеру добирати стійкі до проростання генотипи. Висока активність альфа-амілази у зерні цієї культури відіграє й позитивну роль, коли йдеться про виготовлення із зерна збродених напоїв, пива та етанолу [30].

Зерно тритикале вирізняється протеолітичною активністю, вищою, ніж у пшениці, а часом навіть вищою, ніж у жита. Однак ця його особливість істотно не впливає на хлібопекарський потенціал. Разом з тим підвищена активність протеолізу зерна забезпечує більшу доступність білків тритикале для засвоєння, підвищує його кормову і харчову цінність [12].

Пентозани (арабіноза, ксилоза) — некрохмалисті полісахариди клітинних стінок зерна — відіграють важливу роль у визначенні технологічних властивостей борошна пшениці, жита і тритикале. Щодо хлібопе-

ТАБЛИЦЯ 7. Використання тритикале для виготовлення харчових продуктів у провідних країнах-виробниках [24]

Країна	Продукт	Частка борошна тритикале, %	Результативність
Австралія, Нова Зеландія	Хліб, солодоші, бісквіти	100, суміші	+
Бразилія	Різні сорти хліба	40–100	+
Німеччина	Дріжджовий хліб	40	+
Польща	Житній тип хліба	100	+
США	Шаровані торти	100, суміші	+
Російська Федерація	Житній тип хліба	100, суміші	+

карських властивостей житнього борошна, на відміну від пшеничного, пентозани відіграють навіть важливішу роль, ніж білки жита. У зерні тритикале вміст пентозанів такий самий або дещо вищий, ніж у зерні пшениці. З цієї причини роль білків тритикале і пшениці у визначенні хлібопекарських властивостей борошна є визначальною [7]. Головною вадою зерна тритикале, що знижує хлібопекарські властивості його борошна, є житні білки секаліни. Решта білків тритикале кодуються алеями, серед яких є такі, що чинять значний позитивний вплив на його хлібопекарські якості. Ідентифікація і використання цих алелів у селекції на хлібопекарську якість та вилучення з білкового комплексу секалінів — стратегічні завдання на шляху до створення тритикале із задовільними хлібопекарськими властивостями [3].

Хлібопекарські властивості борошна тритикале гірші, ніж пшеничного, також тому, що воно має нижчу водовбирну здатність, коротший час утворення тіста та нижчу стійкість до замісу.

У країнах світу, де тритикале вирощують на значних площах, його зерно використовують для виготовлення харчових продуктів у борошно-сумішах або у чистому вигляді (табл. 7). Важливо наголосити, що в таких країнах, як Польща, Австралія, Нова Зеландія, США, значну частку борошна тритикале використовують у чистому вигляді, в інших країнах — у борошно-сумішах пшениця + тритикале.

Подальше поліпшення харчової цінності зерна тритикале шляхом селекції спрямоване насамперед на ознаки, що поліпшують його борошномельні характеристики: форма і розмір зерна, виповненість, натура. Залишаються актуальними питання поліпшення тритикале за ознакою толерантності до передзбирального проростання зерна, його твердості та гармонізації алельного складу локусів, що кодують біосинтез клейковинних білків.

Новим і вельми актуальним напрямом використання тритикале у світі стає сфера відновлюваних альтернативних джерел енергії на основі зернових культур. Культура тритикале у цій галузі виходить на одну з головних позицій. Для прикладу наведемо результати випробування сортів тритикале (урожаї 2007—2011 рр.), призначених для виробництва біоетанолу у Великій Британії, яка посідає одне з чільних місць у світі в галузі використання біоенергетичних культур. Ці дані навела відома у світі британська компанія Ensus LTD, що є членом найпотужнішої в ЄС корпорації з виробництва біоетанолу Crop Energies Group. Річна потужність

ТАБЛИЦЯ 8. Порівняльна характеристика урожаю зерна озимої пшениці і тритикале у Великій Британії (за [26])

Місце вирощування	Рік	Позиція сівозміни	Кращі сорти пшениці, т/га	Кращі сорти тритикале, т/га	Перевага тритикале, %
Norfolk	2007	1	9,1	9,7	7
Suffolk	2009	2	10,2	12,0	17
Suffolk	2010	2	9,5	9,5	—
Norfolk	2010	2	7,7	8,9	16
N. Yorks	2010	2	9,2	9,4	2
N. Yorks	2010	1	10,9	11,5	6
N. Yorks	2011	2	6,3	7,6	21
Suffolk	2011	1	10,8	11,0	2
Suffolk	2011	2	8,4	10,0	19
Norfolk	2011	1	10,1	10,5	4
Oxon	2011	1	10,2	9,9	—3
Усереднено		1	10,2	10,5	3
Усереднено		2	8,5	9,6	12
Усереднено			9,3	10,0	8

цієї компанії становить 400 тис. м³ біоетанолу і 350 тис. т сухого кормового залишку (DDGS) від переробки зерна на біоетанол. У польових дослідках тритикале порівнювали з пшеницею за урожаєм зерна та економічними критеріями виробництва (табл. 8).

Велика Британія — один зі світових лідерів у селекції пшениці, про що свідчать мінімальний її урожай у досліді 6,3 і максимальний — 10,9 т/га. Однак британські селекціонери створили сорти озимого тритикале з красномовним максимальним урожаєм 12,0 т/га (!). Тритикале практично в усіх зонах випробування за урожаєм зерна перевищувало озиму пшеницю. Фахівці компанії Ensus LTD ретельно підраховали економічний зиск від вирощування озимої пшениці і тритикале і вийшли на показник 122 фунти стерлінгів (£) економічної переваги тритикале над пшеницею з кожного гектара посіву (табл. 9).

Крім економічної переваги британські фахівці зробили такі висновки щодо ключових переваг тритикале над пшеницею: 1) наявність безперечних конкурентних агрономічних переваг; 2) придатність для вирощування на всіх типах ґрунтів; 3) висока стійкість до фітозахворювань; 4) висока морозостійкість; 5) висока посухостійкість; 6) високий урожай соломи. Отже, безсумнівно, тритикале крім кормового і харчового використання цілком обґрунтовано розглядається у Великій Британії та інших розвинутих країнах світу в ряду топ-перспективних біоенергетичних культур [6].

Ці висновки цілком підтверджені результатами наших досліджень, розпочатими в Селекційно-генетичному інституті у 1996 р. Програма досліджень започаткована від однієї практично стерильної рослини F1, отриманої від схрещування колекційного амфіплоїда AABBDD типу (VIP) зі зразком короткостеблового жита німецького походження від компанії Петкус. Кілька отриманих від самозапилення зерен дали попу-

ТАБЛИЦЯ 9. Показники економічної ефективності вирощування пшениці і тритикале [29]

Показник	Пшениця	Тритикале
Урожай, т/га	8,0	8,4
Вартість зерна, £/т	175	170
Дохід від зерна, £/га	1400	1428
Урожай соломи, т/га	3,5	3,85
Вартість соломи, £/т	40	40
Дохід від соломи, £/га	140	154
Валовий дохід, £/га	1540	1582
Вартість насіння, £/га	45	45
Обробка насіння, £/га	25	15
Азотні добрива, кг/га	200	160
Вартість азотних добрив, £/га	173	139
Інші добрива, £/га	85	89
Гербіциди, £/га	60	40
Фунгіциди, £/га	100	80
Інсектициди, £/га	25	25
Загальні витрати, £/га	513	433
Прибуток, £/га	1024	1149
Перевага тритикале, £/га		122

ляцію, з якої у 2002 р. було виділено 12 ліній, які ми висіяли ділянками 5 м² під урожай 2003 р. Зима 2002/03 р. сумнозвісно відома масовим вимерзанням озимих на всій території України. На полі Селекційно-генетичного інституту НААН України, де були розміщені дослідні ділянки, озима пшениця загинула практично на 100 %. На відміну від пшениці 6 із 12 ліній тритикале перезимували практично без втрат. Одна з цих ліній короткостеблова (100—110 см) стійка до хвороб і з найвищою продуктивністю планувалася для передачі у Держсортвипробування під назвою Богдан. Однак через нестабільну врожайність і незадовільний вимолот зерна ми залишили її як вихідний матеріал для схрещувань. У 2004 р. ця лінія була схрещена зі зразком озимого тритикале ССТ із хромосомним заміщенням (5B)5D, отриманим від проф. А. Лукашевського (Каліфорнійський університет, США). Хромосомне заміщення (5B)5D внесло у геном тритикале дві важливі особливості: а) можливість індукованої рекомбінації між хромосомами пшениці і жита (які в нормі не кон'югують і не рекомбінують), а відтак і розширення генетичної варіабельності тритикале; б) підвищення твердості зерна тритикале, а відтак і поліпшення технологічних властивостей зерна. Хромосомне заміщення (5B)5D означає, що в цієї лінії відсутня хромосома 5B, яка несе у довгому плечі ген *pH*, який унеможливує кон'югацію і рекомбінацію гомеологічних хромосом, у нашому випадку — гомеологічних хромосом пшениці і жита. Відсутність хромосоми 5B уможливує рекомбінацію хромосом пшениці і жита. Тому при схрещуваннях тритикале з використанням хромосомно-заміщеної (5B)5D лінії в гібридному потомстві відбувається потужний рекомбінаційний процес за участю гомеологічних хромосом як пшениці,

так і жита. В результаті ми отримали різноманітний селекційний матеріал із широкою генетичною основою для добору.

Замість хромосоми 5В транслокаційна лінія (5В)5D містить хромосому 5D пшениці, в короткому плечі якої розміщений рецесивний алель *ha* головного локусу пшениці *Ha*, що контролює консистенцію ендосперму (*Ha* — домінуючий алель, м'яке зерно; *ha* — рецесивний алель, тверде зерно). Заміщення (5В)5D

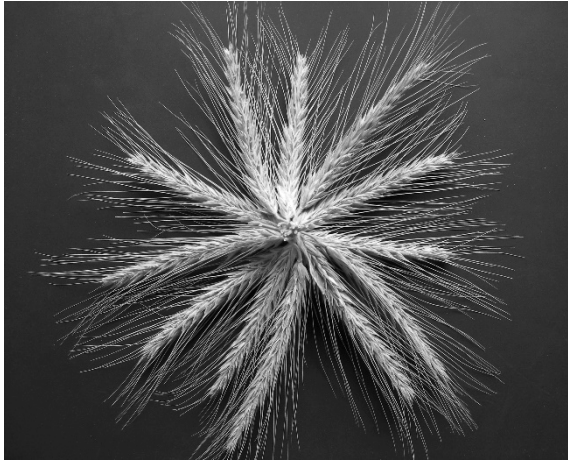


Рис. 2. Колосся ліпших за агрономічними ознаками зразків тритикале з високою озерненістю

дає змогу підвищити твердість зерна тритикале, оскільки в нормі його геном AABBRR не має хромосоми 5D й алеля твердозерності *ha*, тому всі первинні тритикале м'якозерні.

Серед популяції тритикале від схрещування ССТ (5В)5D × Богдан, як і очікувалося, спостерігалася значна генетична варіабельність за морфологією рослин, на основі якої ми отримали десятки перспективних селекційних ліній тритикале з високою фертильністю колоса, добре виповненим зерном, задовільним обмолотом (рис. 2).

Ліпші з них за агрономічними характеристиками протягом трьох років (2009—2011) випробовували в польових дослідках Селекційно-генетичного інституту (СГІ), де вони показали непорівнювано вищий, ніж сорти озимої пшениці селекції СГІ, рівень морозостійкості. Так, за умов гостропосушливої осені 2010 р. озимі пшениця і тритикале увійшли в зиму у фазі трьох листків навіть без зачатків вузла кушіння. Протягом практично безсніжної зими температура на глибині умовного вузла кушіння тривалий час становила -17°C . Грунт від сильних морозів вкрився глибокими тріщинами. Навесні спостерігалася масова загибель посівів озимої пшениці, на фоні якої лінії тритикале вийшли із зими абсолютно неушкодженими і навіть без ознак пожовкнення листків. Ці дані дають підстави стверджувати, що рівень морозостійкості створених нами ліній тритикале значно вищий, ніж сортів озимої пшениці.

Відібрані кращі зразки тритикале випробовували у 2013 р. в незалежних дослідках Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Умови перезимівлі дослідних посівів узимку 2013 р. на Київщині характеризувалися потужними снігопадами й паводками у період відновлення весняної вегетації. В результаті сортові посіви і селекційний матеріал пшениці в дослідках ІФРГ НАН України істотно постраждали від затоплення і були сильно зріджені. Зразки тритикале в цих суворих умовах зимівлі отримали найвищий бал за станом рослин після виходу із зими. Результати оцінювання урожаю зерна ліній тритикале, отримані в дослідках ІФРГ НАН України, наведено в табл. 10.

Як бачимо, за середнього врожаю зерна стандарту — сорту озимої пшениці Перлина Лісостепу 44,3 ц/га лінії тритикале дали середній урожай 71,2 ц/га. Деякі з них перевищили сорт-стандарт озимої пшениці майже вдвічі (!). Отже, за результатами досліджень ми маємо всі підста-

ТАБЛИЦЯ 10. Результати випробування зразків озимих тритикале і м'якої пшениці в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України у 2013 р.

Зразок	Кількість зразків, шт.	Середній урожай, ц/га	Прибавка урожайності, ц/га
Перлина Лісостепу (стандарт, пшениця)	3	44,3	–
Лінії озимого тритикале	24	71,2	6,2–44,7

П р и м і т к а. Тут і в табл. 11: ділянки — 20 м², повторність одноразова, норма висіву — 320 г.

ТАБЛИЦЯ 11. Результати випробування зразків озимого тритикале в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України у 2014 р.

Зразок	Кількість зразків, шт.	Середній урожай, ц/га	Прибавка урожайності, ц/га
Раритет (стандарт)	6	84,0	–
Лінії озимого тритикале	59	102,4	10,5–39,9

ТАБЛИЦЯ 12. Вихід абсолютного етанолу із зерна зразків тритикале (наважка 100 г) урожаю 2012 р.

Кількість ліній, шт.	Вихід етанолу			
	100 мл		л/т	
	середній	інтервал	середній	інтервал
41	10,08	9,77–10,98	398,9	391–439

ви стверджувати, що створили цінний селекційний матеріал з високими морозо- і зимостійкістю.

Кращі селекційні лінії тритикале, виділені в польових дослідах Одеси та Києва, було висіяно на дослідному полі ІФРГ НАН України для випробування під урожай 2014 р. Результати цих польових випробувань наведено в табл. 11.

Згідно з даними табл. 11, за середнього врожаю зерна стандарту — сорту озимого тритикале Раритет 84 ц/га решта його досліджених ліній перевищила стандарт із максимальним приростом до 39,9 ц/га. Урожайність понад 30 ліній тритикале перевищила 100 ц/га, а лінія № 10854 дала рекордний урожай зерна — 123,9 ц/га. При цьому слід наголосити, що таку продуктивність зразки тритикале мали за екстремальних умов сезону 2014 р., коли переважна більшість селекційного матеріалу озими ни полягла від потужних буревіїв. На жаль, значна частина селекційних ліній цієї культури виявилася нестійкою до проростання на пні. Однак це характерна особливість тритикале як культури, що містить геном жита з генетичним потенціалом підвищеної амілолітичної активності зерна. Хоча для культури, орієнтованої на спирто-дистилятне використання, ця ознака може бути навіть позитивною.

Отримані дані сортовипробування дають підстави стверджувати, що тритикале має доволі високий потенціал зернової продуктивності, вищу, ніж озима пшениця, стійкість до хвороб, високу посухостійкість, а головне — непорівнювано вищу морозо-зимостійкість, що гарантує отримання високих урожаїв навіть за вкрай несприятливих кліматичних умов вирощування.

ТАБЛИЦЯ 13. Середній вміст крохмалю в зерні тритикале порівняно з іншими зерновими культурами

Культура	Середній вміст крохмалю, % сухої речовини	Коливання вмісту крохмалю, % сухої речовини
Пшениця	65,8	58,5—70,4
Тритикале	64,3	60,1—68,8
Сорго (сориз)	71,4	68,7—75,5
Кукурудза	70,6	67,3—76,3

Як уже зазначалося, тритикале має великі перспективи як біоенергетична культура. Протягом останніх 5 років ми оцінюємо ефективність трансформування крохмалю його зерна в етанол. Використовуємо спеціальні лабораторні процедури з метою добору кращих селекційних ліній тритикале за виходом етанолу з тонни збіжжя (див. табл. 12).

У табл. 12 наведено лише ті лінії, вихід абсолютного етанолу з 1 т зерна яких більший за 390 л. Залежно від року врожаю змінювались як вихід етанолу з 1 т збіжжя, так і різниця між зразками тритикале, але співвідношення між кращими і гіршими за цим показником зразками зберігалось. У середньому за виходом етанолу з 1 т збіжжя тритикале дещо поступається іншим зерновим культурам, таким як пшениця, кукурудза, сорго, що пояснюється дещо нижчим вмістом крохмалю в його зерні (табл. 13). Однак зразки тритикале з високою зерновою продуктивністю за вмістом крохмалю і виходом етанолу практично не поступають зерну кукурудзи.

Існує також реальна можливість поліпшення тритикале за допомогою підвищення ефективності трансформування крохмалю в етанол шляхом його генетичної модифікації. У зернових культур відомі два різновиди крохмалю, які істотно відрізняються за ефективністю трансформування в етанол. У типовому крохмалі співвідношення складових амілоза : амілопектин становить 20—25 : 75—80 %. Крохмаль ваксі містить майже 100 % амілопектину, який значно ефективніше ферментується в етанол порівняно з типовим крохмалем [6, 8, 23]. Ці висновки підтверджено результатами наших багаторічних досліджень [2].

З метою генетичної модифікації крохмалю ми втілюємо спеціальну інноваційну програму створення тритикале ваксі інтрогресією в його генном рецесивних алелів генів ваксі *wx* від ваксі пшениці. Ця доволі складна робота базується на використанні у схрещуваннях створеного в Селекційно-генетичному інституті сорту пшениці ваксі Софійка та кращих селекційних зразків тритикале, отриманих із використанням хромосомного заміщення (5B)5D. Фактично два рецесивні алелі гена *Wx*, а саме *wx-A1* (7AS) і *wx-B1* (4AL), локалізовані в геномі А пшениці, в геномі В *wx*-алеля немає взагалі, а алель *wx-D1* (7DS) у тритикале, на відміну від пшениці м'якої, відсутній. Стосовно локалізації гена *Wx* у геномі тритикале інформації немає. Ймовірно, що одна із житніх хромосом несе домінуючий алель гена *Wx*. Отже, гіпотетична структура генотипу тритикале ваксі має виглядати приблизно так, як зображено на рис. 3. Існує також ймовірність так званого хромосомного (R)D заміщення, в результаті якого пшеничний алель *wx-D1* із геному D пшениці може «мігрувати» до житнього геному R тритикале.

Для реалізації програми створення тритикале ваксі в Інституті клітинної біології та генетичної інженерії НАН України розроблено проце-

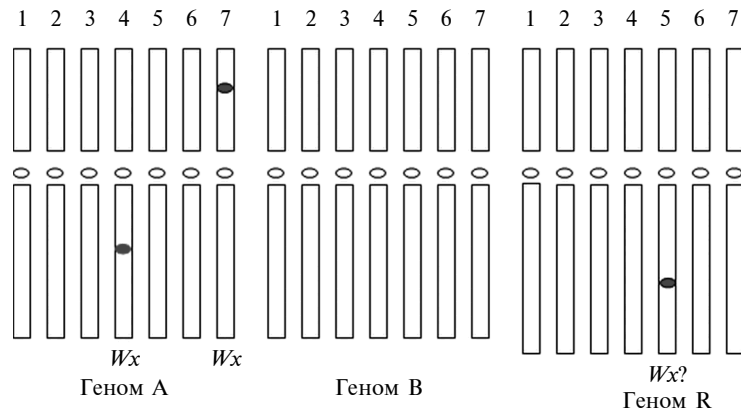


Рис. 3. Гіпотетична цитогенетична геномна структура тритикале за локалізацією алелів гена *Wx*

дуру ідентифікації генотипів «частково ваксі» на матеріалі пшениці за допомогою оптимізованої процедури полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) [1]. Цю процедуру використовують при скринінгу генотипів ваксі на гібридному матеріалі тритикале у серії кількох поколінь бекросів. Типові електрофореграми продуктів ампліфікації ПЛР наведено на рис. 4, 5.

З аналізу видно, що частково ваксі тритикале за геном *Wx-A1* є зразки 9, 11, 13, 14, 16 (див. рис. 4), за геном *Wx-B1* — 1–3, 5, 6, 8–14, 16 (див. рис. 5). Разом за обома генами — зразки 9, 11, 13, 14, 16, які є частково ваксі генотипами, тобто зі зміненим біосинтезом крохмалю, й отже, поліпшеною здатністю перетворення крохмалю на етанол. Такий

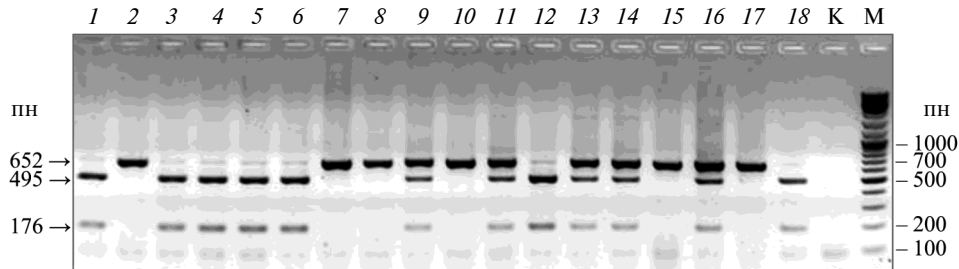


Рис. 4. Електрофореграма продуктів ампліфікації полімеразної ланцюгової реакції на ген *Wx-A1*. Тут і на рис. 5:

1–16 — дослідні зразки; 17 — контрольний зразок пшениці з нуль-алелем за геном *Wx-A1* (на рис. 5 — за геном *Wx-B1*); 18 — вихідна лінія тритикале, дикий тип; К — негативний контроль, ТЕ-буфер; М — маркер молекулярної маси GeneRuler™ DNA Ladder Mix (Thermo Scientific)

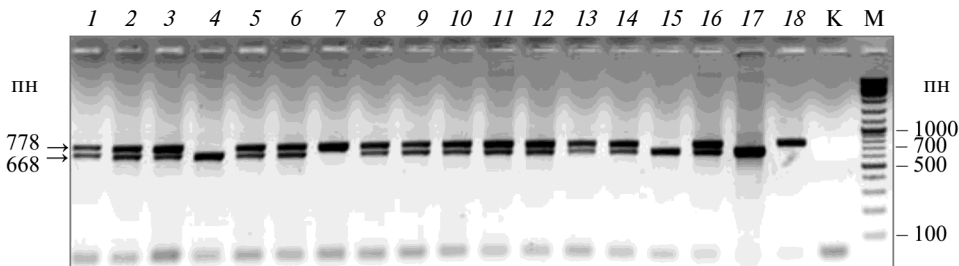


Рис. 5. Електрофореграма продуктів ампліфікації полімеразної ланцюгової реакції на ген *Wx-B1*



Рис. 6. Колосся лінії тритикале із фактичним генетичним потенціалом продуктивності зерна 124 ц/га

підхід дає змогу ефективно контролювати у популяціях тритикале цільові гени ваксі *wx*. Ми сподіваємось, що впродовж наступних кількох років буде створено тритикале ваксі з істотно поліпшеною ефективністю трансформування крохмалю його зерна в етанол.

Отже, на наш погляд, ми навели вагомні аргументи на користь тритикале та перспектив його використання в Україні як кормової культури, що за показниками кормової цінності переважає пшеницю й кукурудзу та може успішно частково або повністю замінити їх у раціонах годівлі свиней, жуйної худоби та птиці.

Тритикале переважає пшеницю за потенціалом зернової продуктивності (рис. 6), стійкістю до біотичних і абіотичних стресових чинників середовища вирощування, невибагливістю до родючості ґрунтів. Його можна успішно вирощувати в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України. Зерно цієї культури має перспективу й у сфері виробництва харчових продуктів із його борошна, особливо кондитерських виробів, які за біологічною цінністю білків переважають аналогічні продукти із зерна пшениці.

Тритикале безперечно перспективне як біоенергетична культура для виробництва технічного біоетанолу та якісного харчового спирту для лікєро-горілчанних виробів.

Сьогодні культура тритикале в Україні залишена поза увагою виробників зерна, оскільки в державі чітко не визначені сфери технологічного використання цієї цінної зернової культури. Селекція тритикале ведеться лише в кількох селекційних центрах і на вкрай примітивному рівні без застосування сучасних методів хромосомної й генної інженерії, біотехнології. З наведених прикладів видно, що Україна як держава з потужним зерновим потенціалом істотно і неприпустимо відстає навіть від сусідніх Російської Федерації й Білорусі, не кажучи вже про Польщу, яка посідає чільне місце серед світових лідерів — виробників зерна тритикале.

1. Степаненко О.В., Степаненко А.І., Моргун Б.В. Молекулярно-генетичні методи ідентифікації алельних варіантів генів *Wx* у лініях м'якої пшениці за допомогою ко-

- домінантних молекулярних маркерів // Фактори експерим. еволюції організмів. — К.: Логос, 2013. — Т. 12. — С. 309—313.
2. Червоніс М.В., Сурженко І.О. Селекційні критерії сортів та гібридів зернових культур для виробництва біоетанолу // 36. наук. праць Одес. СГІ. — 2009. — Вип. 14 (54). — С. 27—36.
 3. Amiour N., Bouguennec A., Marcoz C. et al. Diversity of seven glutenin and secalin loci within triticale cultivars grown in Europe // *Euphytica*. — 2002. — **123**. — P. 295—305.
 4. Boros D. Physico-chemical indicators suitable in selection of triticale for high nutritive value / E. Arseniuk, ed. // Proc. 5th Int. Triticale Symp., Radzikow, Poland, 30 June—5 July 2002. — **1**. — P. 239.
 5. CIMMYT Agricultural Research for Development to Improve Food and Nutrition Security // CIMMYT Annual Report. — Mexico, 2013. — 136 p.
 6. Davis-Knight H., Weightman R. The potential of triticale as low input cereal for bioethanol production. — ADAS UK Ltd, Centre for Sustainable Crop Management, Project Report № 434, November 2010.
 7. Fengler A.M., Marquardt R.R. Water-soluble pentosans from rye. II. Effects on rate of dialysis and on retention of nutrients by the chick // *Cereal Chem.* — 1988. — **65**. — P. 298—302.
 8. Garcia-Aparico M., Trollope K., Tyhoda L. et al. Evaluation of triticale bran as raw material for bioethanol production // *Fuel*. — 2011. — **90**. — P. 1638—1644.
 9. Gursoy U., Yilmaz A. Determination of energy values and digestibility characteristics of triticale varieties // *J. Anim. Sci.* — 2002. — **80** (Suppl. 1). — P. 396.
 10. Imepy Louise. Triticale outyields wheat for bioethanol // *Farmers Weekly*, June 2012. — **9**. — P. 40—42.
 11. Lukaszewski A.J. Improvement of breadmaking quality of triticale through chromosome translocations / In P. Jusliw, ed. // Proc. 4th Int. Triticale Symp., Red Deer, Alberta, Canada, 26—31 July 1998. — P. 117—123.
 12. Marci L.J., Bakance G.M., Larter E.N. Changes in alpha-amylase and protease activities of four secondary hexaploid triticales during kernel development // *Cereal Chem.* — 1986. — **63**. — P. 267—270.
 13. Myer R.O., Barnett R.D., Cornell J.A., Combs G.E. Nutritive value of diets containing triticale and varying mixtures of triticale and maize for growing-finishing swine // *Anim. Feed Sci. Tech.* — 1989. — **22**. — P. 217.
 14. Myer R.O., Barnett R.D. Triticale grain in swine diets. — Fla. Coop. Ext. Ser., Animal Science Fact Sheet N. AS-37. 1984, Gainesville, FL, USA, University of Florida.
 15. Myer R.O., Brendemuhl J.H., Barnett R.D. Crystalline lysine and threonine supplementation of soft red winter wheat or triticale, low-protein diets for growing-finishing swine // *J. Anim. Sci.* — 1966. — **74**. — P. 577.
 16. Myer R.O., Combs G.E., Barnett R.D. Evaluation of three triticale cultivars as potential feed grains for swine // *Soil Crop Sci. Fla. Proc.* — 1990. — **49**. — P. 155.
 17. Myer R.O., Combs G.E., Barnett R.D. Evaluation of triticale cultivars adapted to the southeastern USA as potential feed grains for swine // Proc. 2nd Int. Triticale Symp., Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil, 1—5 Oct. 1990, 1991. — P. 554.
 18. Myer R.O. Triticale grain in young pig diets / E. Arseniuk, ed. // Proc. 5th Int. Triticale Symp., Radzikow, Poland, 30 June—5 July 2002. — **1**. — P. 272.
 19. Naeem H.A., Darvey N.L., Grass P.W., MacRitchie F. Mixing properties, baking potential, and functionality changes in storage proteins during development of triticale-wheat flour blends // *Cereal Chem.* — 2002. — **79**. — P. 332—339.
 20. NRC. Nutrient requirements of beef cattle // 7th revised ed. Washington, DC, USA, 2000, National Academy Press.
 21. NRC. Nutrient requirements of swine // 10th revised ed. Washington, DC, USA, 1998, National Academy Press.
 22. Onwulata C.I., Konstance R.P., Strange E.D. et al. High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations // *Cereal Foods World*. — 2000. — **45**. — P. 470—473.
 23. Pejin D., Mojovic L., Pejin J. et al. Increase in bioethanol production yield from triticale by simultaneous saccharification and fermentation with application ultrasound // *Chem. Technol. Biotechnol.* — 2012. — **87**. — P. 170—176.
 24. Pena R.J. Food uses of triticale. Triticale improvement and production // FAO Plant production and protection paper 179 / Eds. M. Mergoum, H. Gomez-Macpherson. — Rome, 2004. — P. 37—48.
 25. Pettersson D., Aman P. Effects of enzyme supplementation of diets based on wheat, rye or triticale on their productive value for broiler chickens // *Anim. Feed Sci. Tech.* — 1988. — **20**. — P. 313—320.
 26. Pettersson D., Aman P. The variation in chemical composition of triticales grown in Sweden // *Acta. Agric. Scand.* — 1987. — **37**. — P. 20—28.

АГРОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРИТИКАЛЕ

27. *Pomeranz Y., Burkhart B.A., Moon L.C.* Triticale in malting and brewing / Proc. Annual Meeting, 1970. — P. 40—46. American Society Brewing Chemists.
28. *Rimpau W.* Kreuzungsprodukte Landwirthschaftlicher Kulturpflanzen // Landwirthschaftliche Jahrbuecher. — 1891. — **20**. — P. 335—371.
29. *Saxena A.K., Bakhshi A.K., Sehgal K.L., Sandha G.S.* Effect of grain texture on various milling and end use properties of newly bred advanced triticales (wheat x rye) lines // J. Food. Sci. Tech. (India). — 1992. — **29**. — P. 14—16.
30. *Trethowan R.M., Peca R.J., Pfeiffer W.H.* Evaluation of pre-harvest sprouting in triticale compared with wheat and rye using a line source rain gradient // Aust. J. Agric. Res. — 1994. — **45**. — P. 65—74.
31. *Triticale* improvement and production. FAO Plant production and protection paper 179 / Eds. M. Mergoum, H. Gomez-Macpherson. — Rome, 2004. — 157 p.
32. *Tsvetkov M., Stoeva I.* Bread making quality of winter hexaploid triticale (X *Triticosecale* Wittmack) in Bulgaria // Bulg. J. Agric. Sci. — 2003. — **9**. — P. 203—208.
33. *Van Barneveld R.J., Cooper K.V.* Nutritional quality of triticale for pigs and poultry / E. Arseniuk, ed. // Proc. 5th Int. Triticale Symp., Radzikow, Poland, 30 June—5 July 2002. — **1**. — P. 277.
34. *Wilson A.S.* On wheat and rye hybrids // Trans. Proc. Bot. Soc. — 1875. — **12**. — P. 286—288.

Отримано 09.02.2015

АГРОНОМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРИТИКАЛЕ

А.И. Рыбалка^{1, 2}, В.В. Моргун², Б.В. Моргун^{2, 3}, В.М. Починок²

¹Селекционно-генетический институт—Национальный центр семеноведения и сортоизучения Национальной академии аграрных наук Украины, Одесса

²Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

³Институт клеточной биологии и генетической инженерии Национальной академии наук Украины, Киев

Представлен обзор современного состояния и приведены результаты экспериментальных исследований авторов относительно генетического улучшения и хозяйственного использования тритикале. Многочисленные данные мировой науки и практики свидетельствуют о перспективах расширения производства и использования новой ценной культуры для удовлетворения продовольственных и кормовых потребностей, а также технической переработки зерна тритикале.

AGRONOMIC POTENTIAL AND PERSPECTIVES OF TRITICALE

O.I. Rybalka^{1, 2}, V.V. Morgun², B.V. Morgun^{2, 3}, V.M. Pochynok²

¹Plant Breeding and Genetics Institute—National Center of Seed and Cultivars Investigation, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
3 Ovidiopol'ska Road, Odesa, 65036, Ukraine

²Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkiv'ska St., Kyiv, 03022, Ukraine

³Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine
148 Akademika Zabolotnoho St., Kyiv, 03143, Ukraine

The article provides a review of the current state and the results of experimental studies of the authors on genetic improvement and economic use of triticale. Numerous data of world science and practice indicate the prospects for expanding the use of new valuable crop for the production of grain for food and feed purposes and technical processing.

Key words: Triticale, crop production, food and feed value, breeding, bioethanol.