

Оцінка вихідного селекційного матеріалу тритикале озимого за основними ознаками придатності до переробки на біоетанол

О. С. Левченко*, В. М. Стариченко

ННЦ «Інститут землеробства НААН», вул. Машинобудівників, 26, смт Чабани, Києво-Святошинський р-н, Київська обл., 08162, Україна, *e-mail: feniks1213@gmail.com

Мета. Проаналізувати колекційні зразки за врожайністю і вмістом у зерні білка і крохмалю, його гранулометричним складом та виділити цінні джерела для створення сортів, придатних для переробки на біоетанол. **Методи.** Для оцінювання колекційного матеріалу застосовували польові, лабораторні, вимірювально-вагові та математично-статистичні методи досліджень. Хімічні показники якості зерна тритикале аналізували методом інфрачервоної спектроскопії на приладі Infracal 1241. Розмір гранул крохмалю визначали методом світлової мікроскопії із застосуванням комп'ютерної програми ImageJ. Статистичну обробку отриманих результатів досліджень здійснювали з використанням комп'ютерної програми Statistica 6. **Результати.** Наведено результати досліджень з вивчення колекції тритикале озимого за основними ознаками придатності для переробки на біоетанол. Врожайність зерна у колекційних зразках у середньому за роки досліджень становила від 3,69 до 5,17 т/га. Виділено кращі зразки – номери 181, 101, 185, 219 і сорт 'Аристократ' із врожайністю 5,01–5,17 т/га. За високим вмістом крохмалю виділено номери 123 (69,5%), 101 (69,8%) та сорти 'Петрол' (69,0%), 'Солодюк' (70,1%) і 'Любомир' (70,3%). Установлено помірну від'ємну кореляцію врожайності із вмістом білка ($r = -0,37$) та значну від'ємну – між вмістом крохмалю і білка ($r = -0,64$). Проаналізовано колекційні зразки тритикале озимого за гранулометричним складом крохмалю. Максимальний розмір крохмальних гранул у колекційних зразків варіював від 19,4 до 32,7 мкм, мінімальний – від 9,9 до 15,7 мкм, а за середнім розміром гранул діапазон мінливості становив 15,4–20,0 мкм. Виділено сорти 'Яша' і 'Mundo' за найменшим середнім розміром гранул крохмалю (15,4 і 15,6 мкм) та вирівняністю гранулометричного складу. **Висновки.** Виділено джерела цінних ознак за високою врожайністю, вмістом крохмалю та вирівняним і дрібним гранулометричним складом. Установлено помірний кореляційний зв'язок між урожайністю і вмістом білка та значний від'ємний – між вмістом крохмалю і білка.

Ключові слова: врожайність; вміст білка і крохмалю; кореляція; розмір крохмальних гранул; *xTriticosecale* Witt.

Вступ

Одним із шляхів вирішення проблеми вичерпності запасів вуглеводневого палива може стати використання відновлюваних його джерел, зокрема біоетанолу, який є екологічним та порівняно недорогим у виробництві [1]. В Україні, як сировину для виробництва етанолу, в основному використовують зерно злакових культур [2, 3]. Тритикале озиме (*xTriticosecale*) довгий час використовували лише як кормову культуру. Проте на теперішній час вона визнана перспективною за придатністю для переробки на біопа-

ливо [4–8]. Порівняно з іншими культурами тритикале має ряд вагомих переваг, тому що воно може вирощуватись та давати гарні врожаї навіть на малородючих піщаних і супіщаних ґрунтах з підвищеною кислотністю. Враховуючи технічний напрям використання біоетанолу, тритикале можна вирощувати також у зонах, що зазнали забруднення внаслідок Чорнобильської або інших техногенних аварій.

З однієї тонни зерна тритикале можна отримати до 380 л біоетанолу. Для покращення ефективності переробки і тим самим збільшення обсягів виробництва біопалива потрібно створювати і впроваджувати нові сорти із відповідним комплексом заданих ознак, які у першу чергу характеризуються високою врожайністю та підвищеним вмістом і якістю крохмалю [9–14].

Olha Levchenko

<https://orcid.org/0000-0003-1639-326X>

Vasyl Starychenko

<https://orcid.org/0000-0002-4551-8263>

Важливим показником якості є гранулометричний склад крохмалю, тому що від цього певною мірою залежить ефективність перетворення його у етанол. Відомо, що розмір і форма крохмальних гранул є характерними для різних культур і навіть сортів [15]. Зерно сортів тритикале із дрібними і вирівняними за розмірами крохмальними гранулами завдяки більшій площі реагування з ферментами відрізняється прискореним процесом збродження. Тому перспективним є створення нових сортів тритикале для спиртодистильного напряму використання із дрібним та однорідним за розміром гранулометричним складом крохмалю.

Мета досліджень – оцінити колекційний матеріал тритикале озимого за врожайністю, вмістом у зерні білка і крохмалю та його гранулометричним складом, виділити цінні джерела для створення сортів, придатних для переробки на біоетанол.

Матеріали та методика досліджень

Досліджували колекцію тритикале озимого впродовж 2017–2019 років у ННЦ «Інститут землеробства НААН». Дослідні ділянки розміщували на полях зерно-просапної сівозміни, що розташовані у Києво-Святошинському районі Київської області. Ґрунти полів відносяться до дерново-середньоопідзолених супіщаних. Уміст гумусу в орному шарі ґрунту (0–20 см) становив до 1,23% (за Тюрінім), кількість рухомих форм фосфору – 9 мг, калію – 15 мг (за Ареніусом), азоту, що легко гідролізується – 7,0 мг на 100 г ґрунту (за Корнфільдом). Реакція ґрунтового розчину слабокисла, рН сольової витяжки – 5,5.

Температура за весняно-літній період 2017 року у цілому була близькою до норми, проте кількість опадів була недостатньою. Значення гідротермічного коефіцієнту (ГТК, за Г. Т. Селяніновим) за період вегетації тритикале озимого у 2016–2017 роках було 0,85, що характеризує його, як недостатньо забезпечений вологою. У 2018 році за період квітень–липень температура була вищою за норму. За значенням гідротермічного коефіцієнту (1,08) вегетація тритикале у 2017–2018 роках проходила в умовах достатнього забезпечення вологою. За весь весняно-літній період 2019 року температура повітря перевищувала середньобогаторічну норму, особливо у червні. Погодні умови вегетації тритикале озимого у 2018–2019 роках за значенням гідротермічного коефіцієнту, який становив 0,6, характеризувались як дуже посушливі.

Колекційний розсадник включав 160 зразків тритикале озимого, що представлені сор-

тами і селекційними лініями вітчизняного та іноземного походження. За результатами попереднього комплексного оцінювання низки господарсько-цінних ознак для подальшого поглибленого вивчення було відібрано 43 зразки, з яких 30 – це власний селекційний матеріал, 13 – сорти селекції ННЦ «Інститут землеробства НААН» ('Аристократ', 'Волемир', 'Любомир', 'Маєток Полісся', 'Петрол', 'Солодюк', 'Котигорошко', 'Фанат', 'Поліський 7') та закордонної селекції ('Яша', 'Алмаз', 'Докучаєвське' – Росія, 'Mundo' – Польща). Як стандарт використовували сорт 'Мольфар' селекції ННЦ «Інститут землеробства НААН», занесений до Реєстру сортів рослин України у 2014 році. Площа польової ділянки у колекційному розсаднику становила 5,5 м² за чотирьохразової повторності. Розміщення ділянок – систематичне зі зміщенням, стандарт, сорт 'Мольфар', висівали через кожні 10 номерів.

Для оцінювання колекційного матеріалу застосовували польові, лабораторні, вимірювально-вагові та математично-статистичні методи досліджень. Аналізували хімічні показники якості зерна тритикале у лабораторних умовах методом інфрачервоної спектроскопії на приладі Infratec 1241. Досліджували гранулометричну структуру крохмалю методом світлової мікроскопії. Розмір гранул визначали за допомогою комп'ютерної програми ImageJ. Статистичну обробку отриманих результатів досліджень здійснювали з використанням комп'ютерної програми Statistica 6.

Результати досліджень

За результатами оцінювання колекційних зразків за рівнем урожайності зерна було встановлено, що її показники у різних зразків у середньому за три роки досліджень мали межі індивідуальних варіювань від 3,69 до 5,17 т/га. У таблиці 1 наведено показники 20 кращих зразків із рівнем врожайності від 4,60 т/га, які суттєво перевищували сорт-стандарт 'Мольфар'.

Найвищу врожайність отримали у 2017 році із значенням у середньому по всій колекції 4,97 т/га та коливаннями від 4,02 (зразок 215) до 5,72 т/га (зразок 181). Сорт-стандарт 'Мольфар' за врожайністю перевищили 33 зразки на 0,01–0,94 т/га. У 2018 році врожайність була нижчою й у середньому становила 4,38 т/га із максимальним значенням 5,23 т/га у номеру 101. Кращими за стандарт виявилися 27 зразків із перевищенням до 0,61 т/га. Найнесприятливішим для формування продуктивності рослин і, відповідно, врожайнос-

Таблиця 1

Оцінка колекційних зразків тритикале озимого за врожайністю та вмістом у зерні білка і крохмалю (середнє за 2017–2019 рр.)

Назва зразка	Урожайність		Уміст білка, %	Крохмаль		
	т/га	+ до St		вміст, %	вихід з 1 га, т	+ до St
'Мольфар' – St	4,25	–	11,0	68,2	2,90	–
181	5,17	0,92	10,6	68,5	3,54	0,64
101	5,12	0,87	10,0	69,8	3,57	0,67
185	5,11	0,86	11,9	66,0	3,37	0,47
219	5,09	0,84	11,6	67,2	3,42	0,52
'Аристократ'	5,01	0,76	10,0	68,7	3,44	0,54
87	4,97	0,72	10,5	68,6	3,41	0,51
'Маєток Полісся'	4,85	0,60	10,3	66,8	3,24	0,34
123	4,78	0,53	10,0	69,5	3,32	0,42
'Солодюк'	4,75	0,50	10,9	70,1	3,33	0,42
141	4,74	0,49	11,5	66,9	3,17	0,27
217	4,72	0,47	12,0	67,5	3,19	0,29
'Петрол'	4,72	0,47	9,3	69,0	3,26	0,36
'Любомир'	4,69	0,44	10,7	70,3	3,30	0,40
213	4,64	0,39	10,7	68,4	3,17	0,27
53	4,64	0,39	11,5	67,3	3,12	0,22
'Волемир'	4,63	0,38	11,0	68,2	3,16	0,26
147	4,62	0,37	11,7	67,9	3,14	0,24
209	4,61	0,36	10,7	68,3	3,15	0,25
205	4,60	0,35	12,2	66,7	3,07	0,17
135	4,60	0,35	11,5	68,0	3,13	0,23
S	0,4	–	1,1	0,7	0,3	–
V, %	8,3	–	1,7	6,4	8,7	–
НІР _{0,05}	0,32	–	–	–	0,28	–

ті був 2019 рік із жаркою та посушливою погодою під час цвітіння і наливу зерна тритикале озимого. Тому було отримано найнижчу за всі роки досліджень урожайність, яка у середньому по всій колекції становила 4,09 т/га, а у кращого номеру 181 – 4,98 т/га. Сорт-стандарт перевищили 34 зразки на 0,05–1,21 т/га. За результатами оцінювання колекції тритикале озимого за врожайністю зерна як кращі виділено зразки 181, 101, 185, 219 і сорт 'Аристократ' із показниками у середньому за три роки 5,01–5,17 т/га. Ці зразки є джерелами високої продуктивності і цінним вихідним матеріалом для використання у селекційній практиці.

За результатами трьохрічних досліджень з оцінювання колекційних зразків за вмістом у зерні крохмалю встановлено, що його показники змінювались за роками аналогічно варіюванню врожайності. У 2017 році, коли було отримано найвищу врожайність зерна, вміст крохмалю також був найвищим і становив у середньому по всій колекції 68,7%. У 2018 році кількість крохмалю у зерні становила 67,7%, а у 2019 – 67,1%. Проте врожайність за роками знижувалася сильніше, ніж вміст крохмалю. Якщо величину врожайності і вміст крохмалю у 2017 році у середньому по колекції прийняти за 100%, то у 2018 році вони дорівнювали 88,1% і 98,5%, а у 2019 – 82,3% і 97,7%, відповідно. Таким

чином прослідковується менший вплив умов року на вміст крохмалю ніж на врожайність.

Установлено різну реакцію колекційних зразків за проявом вмісту крохмалю у зерні на зміну умов вирощування. У таких сортів як 'Петрол', 'Аристократ' і номерів 135, 101 показники цієї ознаки за роками досліджень змінювались незначно (до 0,4%), а у номерів 181, 191, 53, 223, 185 ці зміни сягали до 3,5%. Загалом по колекції у 8-ми зразків різниця між показниками за роками становила менше 1,0%, у 15 номерів – 2,0–3,5%, а у всіх інших – 1,0–1,9%.

Сильніше, ніж під впливом умов років досліджень, кількість крохмалю у зерні колекційних зразків коливалась залежно від генетичного різноманіття колекції за цією ознакою. У середньому за три роки показники вмісту крохмалю змінювались по всій колекції від 65,5% у сорту 'Котигорошко' до 70,3% у сорту 'Любомир', тобто різниця між максимальним і мінімальним значенням показників становила 4,8%. З урахуванням коефіцієнту варіації (6,4%) можна зробити висновки, що загалом мінливість у колекційних зразків за вмістом крохмалю була незначною. За результатами оцінювання виділено наступні зразки із найвищим умістом крохмалю: номери 123 (69,5%), 101 (69,85%) та сорти 'Петрол' (69,0%), 'Солодюк' (70,1%), 'Любомир' (70,3%), які є цінними джерелами

за цією ознакою та можуть бути залучені як батьківські форми у схрещування для створення нових сортів, найпридатніших для виробництва біопалива.

Головна вимога до сортів тритикале озимого, придатних для переробки на біоетанол – здатність забезпечувати із врожаєм зерна високий вихід крохмалю з одиниці площі. Забезпечення зростання цього показника можна досягти як за рахунок підвищення рівня врожайності, так і вмісту у зерні крохмалю. Найкращим рішенням є поєднання високих показників цих ознак в одному генотипі. За результатами проведеного оцінювання колекційних зразків було зроблено розрахунок теоретичного виходу крохмалю з одного гектара, який коливався по колекції у середньому за три роки від 2,50 до 3,57 т/га. Дванадцять колекційних зразків із виходом крохмалю від 3,19 т/га достовірно перевищували сорт-стандарт ‘Мольфар’ на 0,29–0,67 т/га. За роками досліджень вихід крохмалю змінювався аналогічно змінам рівня врожайності (рис.).

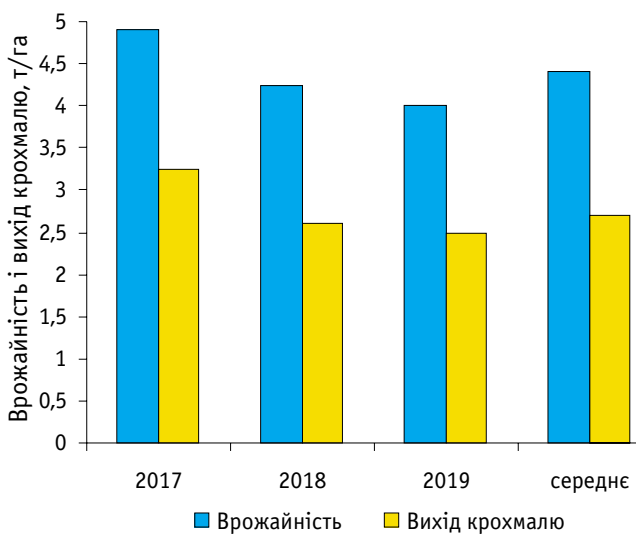


Рис. Врожайність і вихід крохмалю із врожаєм зерна колекційних зразків тритикале озимого

Одинадцять зразків із всієї колекції забезпечили вихід крохмалю понад 3,24 т/га, а кращі з них (номери 101, 181, 87, 219 і сорт ‘Аристократ’) – 3,41–3,57 т/га. П’ять зразків (номери 101, 123 і сорти ‘Аристократ’, ‘Солодюк’ та ‘Петрол’) із рівнем 3,26–3,57 т/га характеризувалися поєднанням підвищених показників врожайності і вмісту крохмалю: 4,72–5,12 т/га і 68,7–71,1%, відповідно. Зразки 181, 185, 219, 87 і сорт ‘Маєток Полісся’ із рівнем 3,24–3,54 т/га забезпечили великий вихід крохмалю завдяки підвищеному рівню врожайності (4,85–5,17 т/га). Водночас

окремі зразки з високою врожайністю, але зі знизеним умістом крохмалю, показали за його виходом нижчий рівень, порівняно з менш врожайними, проте із підвищеним умістом крохмалю у зразках. Найнижчі показники за виходом крохмалю, на рівні 2,50 т/га, було отримано у зразка 215, який мав низьку врожайність зерна і знизений уміст у ньому крохмалю.

У селекції багатьох культур, у тому числі і зернових, велику увагу приділяють створенню сортів із підвищеним умістом білка. Проте сорти, придатні для переробки на біопаливо, навпаки, повинні характеризуватися низьким умістом білка у зерні. Значення показників умісту білка у колекційних зразків тритикале озимого у середньому за 2017–2019 роки по всій колекції становило 11,2% і варіювало від 9,3% (сорт ‘Петрол’) до 12,2% (номери 229 і 205). За роками досліджень спостерігали зміни показників умісту білка у зерні колекційних зразків. Найнижчий його вміст було зафіксовано у кращому за умовами вирощування 2017 році, коли у середньому по колекції він становив 10,3%, а межі мінливості індивідуальних значень були від 8,6% у сорту ‘Петрол’ до 11,7% у номеру 229. У 2018 році, коли відбулось зниження рівня врожайності і вмісту у зерні крохмалю порівняно із попереднім роком, уміст білка навпаки збільшився. Середній його показник по колекції збільшився на 1,3% і становив 11,6%. Загалом по колекції вміст білка коливався від 9,5% у сорту ‘Петрол’ до 12,6% у зразка 221. За визначення кількості білка у колекційних зразків у 2019 році отримано неоднозначні результати. У більшості зразків одночасно із подальшим знизенням врожайності зерна спостерігали збільшення вмісту білка. У номерів 153, 215, 93, 53 та сортів ‘Яша’, ‘Мольфар’ і ‘Солодюк’ він підвищився на 0,5–1,3%. У зразків 229, 201, 205, 207 та інших суттєвого збільшення вмісту білка не спостерігали (+0,1–0,2%). Загалом, порівняно із минулим роком, у 26 зразків колекції показники білковості зросли, у 14 – знизилися, а у 3 зразків – не змінилися. Варто зазначити, що зростання спостерігалось здебільшого у зразків, що характеризувались підвищеним загальним умістом білка, який у середньому за три роки становив від 11,0 до 12,2%. Загалом у 2019 році було визначено найвищий за всі роки досліджень уміст білка, який у середньому по колекції становив 11,8% із межами варіювання від мінімального значення у сорту ‘Петрол’ (9,7%) до максимального у номера 53 (12,8%).

За трьохрічними даними з найвищим вмістом білка виділено номери 229, 205, 207, 217, 223, 221 і сорт 'Mundo' (12,0–12,2%). Низький вміст білка, у зв'язку із від'ємною кореляцією із крохмалем, є одним із відносних показників придатності сортів для переробки на біоетанол. Тому зразки 191, 101, 123 та сорти 'Петрол' і 'Аристократ', що характеризуються відповідними низькими показниками (до 10,5%), є цінним вихідним матеріалом для використання у селекційній роботі.

Для встановлення сили і направленості зв'язків між такими важливими ознаками, як врожайність зерна та вміст у ньому крохмалю і білка було проведено кореляційний аналіз. Коефіцієнти кореляції розраховано за середніми за три роки показниками цих ознак. За результатами аналізу встановлено слабку позитивну кореляцію урожайності із вмістом крохмалю ($r = 0,17$) та помірну від'ємну із вмістом білка ($r = -0,37$), що дозволяє проводити селекцію на підвищення врожайності зерна, не знижуючи при цьому вміст крохмалю. Між вмістом крохмалю і білка виявлено обернений значний зв'язок ($r = -0,64$). Кореляційні зв'язки між врожайністю і вмістом білка та білком і крохмалем є суттєвими за 5% рівнем значущості, а між врожайністю і вмістом крохмалю зв'язок виявився недостовірним через недостатню кількість пар спостережень.

Для сортів спирто-дистилятного напрямку використання важливим є не лише кількість, але й якість крохмалю, одним із показників якого є розмір крохмальних гранул. Результати досліджень багатьох учених показують, що гранули крохмалю у сортів різних зернових культур різняться за своїми розмірами [17–20]. Для ідентифікації колекційних зразків тритикале озимого за розміром гранул крохмалю було проаналізовано його гранулометричний склад. У кожного зразка було визначено мінімальний, максимальний і середній розмір крохмальних гранул. За результатами досліджень встановлено, що крохмальні зерна різних зразків різняться за розміром і, таким чином, доведено генетичну різноманітність колекції за гранулометричною структурою крохмалю. У середньому за три роки максимальний розмір крохмальних гранул у 43 зразків тритикале озимого варіював від 19,4 до 32,7 мкм і становив у середньому по колекції 28,7 мкм. Мінімальний розмір гранул коливався від 9,9 до 15,7 мкм із середнім значенням 10,7 мкм. Середній розмір гранул є найоб'єктивнішою характеристикою гранулометричного складу крохмалю, тому що грану-

ли максимальних і мінімальних розмірів можуть бути представлені лише поодинокими екземплярами. За середнім розміром крохмальних зерен діапазон мінливості становив від 15,4 до 20,0 мкм із середнім значенням 16,9 мкм. Більшу різноманітність колекційних зразків встановлено за мінімальними і максимальними розмірами гранул крохмалю, коефіцієнт варіації становив 10,2 і 10,7%, відповідно. Меншу різноманітність виявлено за середнім розміром гранул із значенням коефіцієнту варіації 5,4%.

У таблиці 2 наведено колекційні зразки, що представляють увесь діапазон мінливості колекції за середніми розмірами гранул крохмалю. Сорти 'Яша' і 'Mundo' мають найменші середні розміри гранул (у середньому за три роки – 15,4 і 15,6 мкм), зразки 181 і 181 мають гранули розміром 16,5 та 16,6 мкм; зразки 'Любомир' і 219 – 17,5 та 17,6 мкм; зразки 'Маєток Полісся' і 215 – 18,1 та 18,5 мкм; сорти 'Докучаєвське' і 'Алмаз' – 19,1 та 20,0 мкм.

Таблиця 2

Розміри крохмальних гранул у колекційних зразках тритикале озимого (середнє за 2017–2019 рр.)

Сорт, селекційний номер	Розмір гранул, мкм		
	мінімальний	максимальний	середній
'Мольфар' – St	10,4	25,7	17,1
'Яша'	13,2	19,4	15,4
'Mundo'	12,7	19,7	15,6
181	10,6	30,1	16,5
181	10,6	26,5	16,6
'Любомир'	10,5	27,7	17,5
219	11,0	32,7	17,6
'Маєток Полісся'	10,3	32,6	18,1
215	10,5	31,9	18,5
'Докучаєвське'	13,6	31,1	19,1
'Алмаз'	15,7	30,3	20,0
Середнє по колекції	10,7	28,7	16,9
Lim	9,9–15,7	19,4–32,7	15,4–20,0
S	1,1	2,9	0,9
V, %	10,2	10,7	5,4

Колекційні зразки різнилися між собою не лише за розміром гранул, але й за вирівняністю гранулометричного складу. Сорти 'Яша' і 'Mundo' із найменшим середнім розміром гранул, відрізнялись також їхньою однорідністю. Різниця у цих зразків між мінімальним і максимальним значенням становила 6,2 і 7,1 мкм, відповідно. Встановлено, що розмір гранул не залежить від вмісту у зерні крохмалю. Наприклад, у сорту 'Яша' вміст крохмалю становив 67,4%, а у сорту 'Mundo' – 65,7%, проте розміри гранул у них були майже однаковими. Також зразок 185 і сорт 'Любомир' із вмістом крохмалю 66,0 і

70,3%, відповідно, характеризувались близьким за розміром гранулометричним складом. Тому серед колекційних зразків з високим умістом крохмалю найціннішими є зразки з однорідними дрібними гранулами.

Висновки

Виділено зразки 181, 101, 185, 219 і сорт 'Аристократ' із рівнем врожайності зерна 5,01–5,17 т/га, які є джерелами високої продуктивності. За високим умістом крохмалю виділено номери 123 (69,5%), 101 (69,85%) та сорти 'Петрол' (69,0%), 'Солодюк' (70,1%) і 'Любомир' (70,3%).

Колекційні зразки 101, 123, 'Аристократ', 'Солодюк', 'Петрол', що забезпечили високий вихід крохмалю з гектара (до 3,57 т/га) завдяки поєднанню підвищених показників врожайності і вмісту крохмалю (4,72–5,12 т/га і 68,7–71,1%, відповідно), найбільше відповідають вимогам до сортів, придатних для переробки на біоетанол.

Виявлено помірну від'ємну кореляцію врожайності із вмістом білка ($r = -0,37$) та значну від'ємну – між вмістом крохмалю і білка ($r = -0,64$).

Доведено різноманітність колекційних зразків за розміром крохмальних гранул. За найменшим середнім розміром гранул крохмалю (15,4 і 15,6 мкм) та вирівняністю гранулометричного складу виділено сорти 'Яша' і 'Mundo', які є цінним вихідним матеріалом для створення сортів спирто-дистильного напрямку використання.

Використана література

- Zabed H., Sahu J. N., Suely A. et al. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017. Vol. 71. P. 475–501. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.076
- Брей В. В., Щуцький І. В. Біоетанол в Україні. *Вісн. НАН України*. 2016. № 6. С. 71–76. doi: 10.15407/vsn2016.06.071
- Червоніс М. В., Сурженко І. О. Селекційні критерії сортів та гібридів зернових культур для виробництва біоетанолу. *Збірник наукових праць СГІ – НЦНС*. 2009. Вип. 14. С. 27–36.
- Obuchowski W., Banaszak Z., Makowska A., Łuczak M. Factors affecting usefulness of triticale grain for bioethanol production. *J. Sci. Food Agric.* 2010. Vol. 90, Iss. 14. P. 2506–2511. doi: 10.1002/jsfa.4113
- McKenzie R. H., Bremer E., Middleton A. B. et al. Agronomic practices for bioethanol production from spring triticale in Alberta. *Can. J. Plant Sci.* 2014. Vol. 94, Iss. 1. P. 15–22. doi: 10.4141/cjps2013-112
- Cantale C., Petrazzuolo F., Correnti A. et al. Triticale for bioenergy production. *Agric. Agric. Sci. Procedia*. 2016. Vol. 8. P. 609–616. doi: 10.1016/j.aaspro.2016.02.083
- Habtamu A., Tadele T. K., Twain J. B., Xue-Feng M. Triticale Improvement for Forage and Cover Crop Uses in the Southern Great Plains of the United States. *Front Plant Sci.* 2018. Vol. 9. P. 1130. doi: 10.3389/fpls.2018.01130
- McGoverin C. M., Snyders F., Muller N. et al. A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *J.*

- Sci. Food Agric.* 2011. Vol. 91, Iss. 7. P. 1155–1165. doi: 10.1002/jsfa.4338
- Dumbravă M., Ion V., Epure, L. I. et al. Yield and Yield Components at Triticale under Different Technological Conditions. *Agric. Agric. Sci. Procedia*. 2016. Vol. 10. P. 94–103. doi: 10.1016/j.aaspro.2016.09.023
- Грабовец А. И., Андреев Н. Р., Крохмаль А. В., Шевченко Н. А. Проблемы селекции тритикале с высоким содержанием крахмала в зерне и его использования. *Доклады РАСХН*. 2013. № 5. С. 14–16.
- Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Сербя Е. М. та ін. Исследование различных сортов тритикале для использования их в спиртовом производстве. *Пиво и напитки*. 2014. № 6. С. 14–18.
- Грабовец А. И., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Хричикова Г. Н. Селекция тритикале для бродильного производства: итоги и проблемы. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2015. № 2. С. 63–68.
- Копусь М. М., Копусь Е. М., Парапонов А. А. Качество зерна тритикале как сырья для производства биоэтанола на юге России. *Тритикале : матер. Междунар. практ. конф. «Роль тритикале в стабилизации и увеличении производства зерна и кормов»* (г. Ростов-на-Дону, 15–17 марта 2010 г.). Ростов-на-Дону, 2010. С. 238–241.
- Рыбалка О. И. Тритикале и энергетика. Перспектива недооценённой культуры. *Зерно*. 2012. № 9. С. 34–37.
- Рыбалка О. И., Червоніс М. В., Моргун Б. В. та ін. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистильного напрямку технологічного використання зерна. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2013. Т. 45, № 1. С. 3–19.
- Jaiswal S., Baga M., Ahuja G. et al. Development of barley (*Hordeum vulgare* L.) lines with altered starch granule size distribution. *J. Agric. Food Chem.* 2014. Vol. 62, Iss. 10. P. 2289–2296. doi: 10.1021/jf405424x
- Yu A., Li Y., Ni Y. et al. Differences of starch granule distribution in grains from different spikelet positions in winter wheat. *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9, Iss. 12. e114342. doi: 10.1371/journal.pone.0114342
- Xurun Y., Heng Y., Jing Z. et al. Comparison of endosperm starch granule development and physicochemical properties of starches from waxy and non-waxy wheat. *Int. J. Food Prop.* 2015. Vol. 18, Iss. 11. P. 2409–2421. doi: 10.1080/10942912.2014.980949
- Cornejo-Ramirez Y. I., Cinco-Moroyoqui F. J., Ramirez-Reyes F. et al. Physicochemical characterization of starch from hexaploid triticale (*xTriticosecale* Wittmack) genotypes. *CYTA-J. Food*. 2015. Vol. 13, Iss. 3. P. 420–426. doi: 10.1080/19476337.2014.994565
- Li W., Yan S., Shi X., Zhang C., Shao Q., Xu F., Wang J. Starch granule size distribution from twelve wheat cultivars in east China's Huaibei region. *Can. J. Plant Sci.* 2016. Vol. 96, Iss. 2. P. 176–182. doi: 10.1139/cjps-2015-0048

References

- Zabed H., Sahu J. N., Suely A., Boyce A. N., & Faruq, G. (2017). Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 71, 475–501. doi: 10.1016/j.rser.2016.12.076
- Brai, V. V., & Shchutskyi, I. V. (2016). Bioethanol in Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* [Herald of National Academy of Sciences of Ukraine], 6, 71–76. doi: 10.15407/vsn2016.06.071 [in Ukrainian]
- Chervonis, M. V., & Surzhenko, I. O. (2009). Breeding criterias for varieties and hybrids of cereals for bioethanol production. *Zbirnik naukovih prac SGI – NCNS* [Collected Scientific Articles of PBGI – NCSCI], 14, 27–36. [in Ukrainian].
- Obuchowski, W., Banaszak, Z., Makowska, A., & Łuczak, M. (2010). Factors affecting usefulness of triticale grain for bioethanol

- production. *J. Sci. Food Agric.*, 90(14), 2506–2511. doi: 10.1002/jsfa.4113
5. McKenzie, R. H., Bremer, E., Middleton, A. B., Beres, B., Yoder, C., Hietamaa, C., ... Henriquez, B. (2014). Agronomic practices for bioethanol production from spring triticale in Alberta. *Can. J. Plant Sci.*, 94(1), 15–22. doi: 10.4141/cjps2013-112
 6. Cantale, C., Petrazzuolo, F., Correnti, A., Farneti, A., Felici, F., Latini, A., & Galeffi, P. (2016). Triticale for bioenergy production. *Agric. Agric. Sci. Procedia*, 8, 609–616. doi: 10.1016/j.aaspro.2016.02.083
 7. Habtamu, A., Tadele, T. K., Twain, J. B., & Xue-Feng, M. (2018). Triticale Improvement for Forage and Cover Crop Uses in the Southern Great Plains of the United States. *Front Plant Sci.*, 9, 1130. doi: 10.3389/fpls.2018.01130
 8. McGoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G., & Manley, M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *J. Sci. Food Agric.*, 91(7), 1155–1165. doi: 10.1002/jsfa.4338
 9. Dumbravă, M., Ion, V., Epure, L. I., Băşa, A. G., Ion, N., & Duşa, E. M. (2016). Yield and Yield Components at Triticale under Different Technological Conditions. *Agric. Agric. Sci. Procedia*, 10, 94–103. doi: 10.1016/j.aaspro.2016.09.023
 10. Grabovec, A. I., Andreev, N. R., Krohmal, A. V., & Shevchenko, N. A. (2013). Problems of breeding of triticale with a high content of starch in grain and its use. *Doklady Rossijskoj akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 5, 14–16. [in Russian]
 11. Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Serba, E. M., Shelehova, N. V., Veselovskaya, O. V., Abramova, I. M., & Rimareva, L. V. (2014). Study Triticale Different Varieties for Use in Alcohol Production. *Pivo i napitki* [Beer and Beverages], 6, 14–18. [in Russian]
 12. Grabovec, A. I., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., & Grichikova, G. N. (2015). Triticale breeding for fermentation production: results and problems. *Zernobobovye i krupnanye kultury* [Leguminous and Groat Crops], 2, 63–68. [in Russian]
 13. Kopus, M. M., Kopus, E. M., & Paraponov, A. A. (2010). Quality of triticale grain as raw material for bioethanol production in the south of Russia. In *Triticale: mater. Mezhdunar. prakt. konf. «Rol tritikale v stabilizatsii i uvelichenii proizvodstva zerna i kormov»* [Triticale: Proc. of the Int. Pract. Conf. "The Role of Triticale in Stabilizing and Increasing Grain and Feed Production"] (pp. 238–242). March 15–17, 2010, Rostov-on-Don, Russia. [in Russian]
 14. Rybalka, O. I. (2012). Triticale and energy. The prospect of an underrated culture. *Zerno* [Grain], 9, 34–37. [in Russian]
 15. Rybalka, A. I., Chervonis, M. V., Morgun, B. V., Pochinok, V. M., & Polischuk, S. S. (2013). Genetic and breeding criteria of crop cultivars production for ethanol distilling end-use. *Fiziol. Biokhim. Kul't. Rast.* [Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants], 45(1), 3–19. [in Ukrainian]
 16. Jaiswal, S., Bâga, M., Ahuja, G., Rossnagel, B., & Chibbar, R. (2014). Development of barley (*Hordeum vulgare* L.) lines with altered starch granule size distribution. *J. Agric. Food Chem.*, 62(10), 2289–2296. doi: 10.1021/jf405424x
 17. Yu, A., Li, Y., Ni, Y., Yang, W., Yang, D., Cui, Zh., Wang, Zh., & Yin, Y. (2014). Differences of starch granule distribution in grains from different spikelet positions in winter wheat. *PLoS ONE*, 9(12), e114342. doi: 10.1371/journal.pone.0114342
 18. Xurun, Y., Heng, Y., Jing, Z., Shanshan, S., & Liang, Z. (2015). Comparison of endosperm starch granule development and physicochemical properties of starches from waxy and non-waxy wheat. *Int. J. Food Prop.*, 18(11), 2409–2421. doi: 10.1080/10942912.2014.980949
 19. Cornejo-Ramirez, Y. I., Cinco-Moroyoqui, F. J., Ramirez-Reyes, F., Rosas-Burgos, E. C., Osuna-Amarillas, P. S., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cota-Gastélum, A. G. (2015). Physicochemical characterization of starch from hexaploid triticale (*×Triticosecale* Wittmack) genotypes. *CYTA-J. Food.*, 13(3), 420–426. doi: 10.1080/19476337.2014.994565
 20. Li, W., Yan, S., Shi, X., Zhang, C., Shao, Q., Xu, F., & Wang, J. (2016). Starch granule size distribution from twelve wheat cultivars in east China's Huaibei region. *Can. J. Plant Sci.*, 96(2), 176–182. doi: 10.1139/cjps-2015-0048

УДК 631.527: 631.1: 633.112.9

Левченко О. С.*, **Стариченко В. Н.** Оценка исходного селекционного материала тритикале озимого по основным признакам пригодности к переработке на биоэтанол // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Т. 16, № 1. С. 32–39. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.1.2020.201018>

ННЦ «Институт земледелия НААН», ул. Машиностроителей, 26, пгт Чабаны, Киево-Святошинский р-н, Киевская обл., 08162, Украина, *e-mail: feniks1213@gmail.com

Цель. Проанализировать коллекционные образцы по урожайности и содержанию в зерне белка и крахмала, его гранулометрическому составу и выделить ценные источники для создания сортов, пригодных для переработки на биоэтанол. **Методы.** Для оценки коллекционного материала применяли полевые, лабораторные, измерительные и математико-статистические методы исследований. Анализировали химические показатели качества зерна тритикале методом инфракрасной спектроскопии на приборе Infracrac 1241. Размер гранул крахмала определяли методом световой микроскопии с применением компьютерной программы ImageJ. Статистическую обработку полученных результатов исследований осуществляли с использованием компьютерной программы Statistica 6. **Результаты.** Приведены результаты исследований по изучению коллекции тритикале озимой по основным признакам пригодности для переработки на биоэтанол. Урожайность зерна у коллекционных образцов в среднем за годы исследований составляла от 3,69 до 5,17 т/га. Выделены лучшие образцы – номера 181, 101, 185, 219 и сорт 'Аристократ' с урожайностью 5,01–5,17 т/га. За высоким содержанием крахмала выделены номера 123 (69,5%),

101 (69,8%) и сорта 'Петрол' (69,0%), 'Солодюк' (70,1%) и 'Любомир' (70,3%). Выявлена умеренная отрицательная корреляция урожайности с содержанием белка ($r = -0,37$) и значительная отрицательная – между содержанием крахмала и белка ($r = -0,64$). Проанализированы коллекционные образцы тритикале озимой по гранулометрическому составу крахмала. Максимальный размер крахмальных гранул у коллекционных образцов варьировал от 19,4 до 32,7 мкм, минимальный – от 9,9 до 15,7 мкм, а по среднему размеру гранул диапазон изменчивости составлял 15,4–20,0 мкм. Выделены сорта 'Яша' и 'Mundo' с наименьшим средним размером гранул крахмала (15,4 и 15,6 мкм) и однородным гранулометрическим составом. **Выводы.** Выделены источники ценных признаков высокой урожайности, содержания крахмала и выровненного и мелкого гранулометрического состава. Выявлена умеренная корреляционная связь между урожайностью и содержанием белка и значительная отрицательная – между содержанием крахмала и белка.

Ключевые слова: урожайность; содержание белка и крахмала; корреляция; размер крахмальных гранул; *×Triticosecale* Witt.

UDC 631.527: 631.1: 633.112.9

Levchenko, O. S.*, & **Starychenko, V. M.** (2020). Evaluation of the source breeding material of winter triticale by the main signs of suitability for processing into bioethanol. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16(1), 32–39. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.1.2020.201018>

*NSC 'Institute of Agriculture of NAAS', 2-B Mashynobudivnykiv St., Chabany, Kyiv-Sviatoshynskiy district, Kyiv region, 08162, Ukraine, *e-mail: feniks1213@gmail.com*

Purpose. To analyze collection samples by yield, protein and starch content in grain, its granulometric composition and highlight valuable sources for creating varieties suitable for bioethanol processing. **Methods.** To assess the collection material, field, laboratory, measurement and weight, mathematical and statistical research methods were used. The analysis of chemical quality indicators of triticale grain was carried out by infrared spectrometry on an Infratec 1241 device. The size of starch granules was determined by light microscopy and using the ImageJ computer program. Statistical processing of the obtained research results was carried out with the introduction of the computer program Statistica 6. **Results.** The results of studies on the collection of winter triticale by the main signs of suitability for bioethanol processing are presented. The grain yield in collection samples on average over the years of research ranged from 3.69 to 5.17 t/ha. The best samples were identified – numbers 181, 101, 185, 219 and the variety 'Arystokrat' with a yield of 5.01–5.17 t/ha. By the high starch content numbers 123 (69.5%), 101 (69.8%)

and the varieties 'Petrol' (69.0%), 'Solodiuk' (70.1%) and 'Liubomyr' (70.3%) were selected. A moderate negative correlation was found between yield and protein content ($r = -0.37$) and a significant negative correlation was found between starch and protein content ($r = -0.64$). The analysis of collection samples of winter triticale by granulometric starch composition was carried out. Maximum size of starch granules in the collection samples ranged from 19.4 to 32.7 μm , the minimum – 9.9 to 15.7 μm , and the variability range for the average size of granules was 15.4–20.0 μm . Varieties 'Yasha' and 'Mundo' were distinguished by the smallest average granule size of starch (15.4 and 15.6 μm) and uniformity of particle size distribution. **Conclusions.** Sources of valuable traits were identified by high productivity, starch content and aligned and fine granule size distribution. A moderate correlation between productivity and protein content and a significant negative correlation between starch and protein content was revealed.

Keywords: yield; protein and starch content; correlation; size of starch granules; \times Triticosecale Witt.

Надійшла / Received 12.02.2020
Погоджено до друку / Accepted 19.03.2020