

УДК 631.527: 633.19:631.523

## Аналіз зерна колекційних зразків тритикале озимого за гранулометричним складом крохмалю

Стариченко В. М., кандидат сільськогосподарських наук  
Левченко О. С.

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»  
Україна, 08162, смт Чабани, вул. Машинобудівників, 2б,  
Києво-Святошинський район Київської обл.  
e-mail: stvas@ukr.net; feniks1213@gmail.com

**Мета.** Вивчити гранулометричний склад крохмалю в зерні колекційних зразків тритикале озимого (*Triticosecale* Wittm.) та виявити форми з мінімальною варіативністю розмірів крохмальних гранул для подальшого створення вихідного матеріалу в селекції сортів, оптимальних щодо виробництва крохмалю та біоетанолу. **Методи.** Дослідження виконано у 2016, 2017 рр. у відділі селекції і насінництва зернових культур ННЦ «Інститут землеробства НААН», для чого використано 142 колекційні зразки, сорти і селекційні лінії тритикале гексаплоїдного озимого та 22 зразки пшениці м'якої озимої (як контроль), вирощених у селекційній сівозміні інституту в окремому досліді на єдиному агротехнічному фоні. Гранулометричну структуру крохмалю досліджували методом світлової мікроскопії розмілених зерен у поєднанні з цифровим аналізом зображень. Для обробки даних використовували параметричні методи варіаційної статистики, регресійний та факторний аналізи за допомогою ліцензійних програм Microsoft Office Excel 2007 та StatSoft STATISTICA 8.0.360. **Результати.** Проведений аналіз 164 зразків тритикале та пшениці за розміром гранул крохмалю показав варіативність цієї ознаки. Переважна більшість зразків мали коефіцієнт варіації у межах 12–30 %. У тритикале середній розмір гранул максимальним був у лінії 244/16 (24,20 мкм), мінімальним – у сорту Яша (15,79 мкм). У досліджуваних зразків розмір переважної більшості гранул становив 16–22 мкм, але розподіл їх за розміром у межах вибірки був нерівномірним. Найменшу варіативність встановлено у лінії 145/16 (10,97 %), найбільшу – у лінії 181/16 (37,56 %). **Висновки.** Встановлено значну різницю тритикале озимого за розміром крохмальних гранул у межах виду, а також між окремими лініями і сортами. Мінімальний коефіцієнт варіації розмірів крохмальних гранул виявлено у зразків з найменшим їх максимальним розміром. Як джерела у селекції сортів тритикале для виробництва крохмалю на технічні цілі попередньо рекомендуємо лінії 202, 206 та 220, а для спирто-дистилятного напрямку технологічного використання зерна – сорти Петрол, Яша та Мундо.

**Ключові слова:** тритикале, крохмаль, гранулометричний склад

**Вступ.** За останнє десятиріччя тритикале стало однією з найперспективніших високоврожайних зернових культур. Зростають посівні площі, посилюється пошук ефективних методів селекції, технологій вирощування і переробки зерна тритикале для різних галузей промисловості [1]. Нині існує ряд конкурентоспроможних сортів тритикале озимого, проте виробництво постійно ставить перед селекціонерами нові вимоги до створюваних сортів. На шляху до енергетичної незалежності Украї-

ни важливим фактором є виробництво біоетанолу шляхом переробки продуктів рослинництва. Підвищити ефективність виробництва біоетанолу можливо шляхом створення за допомогою досягнень геноміки і біотехнології нових сортів тритикале озимого із заданими параметрами, що дасть можливість розширити й удосконалити сировинну базу і забезпечити в найближчому майбутньому позитивні зміни в біоенергетиці України [2, 3].

Уміст крохмалю в зерні однієї й тієї ж культури коливається залежно від сорту, умов вирощування і ступеня стиглості зерна. Так, за великої кількості опадів у період вегетації вміст крохмалю в зерні вищий, ніж за посухи. У виповненому зерні крохмалю більше, ніж у щуплому [4]. Крохмаль відкладається у клітинах ендосперму у вигляді гранул, характерних за розміром і формою для різних культур. Так, у пшениці і тритикале вони овально-округлої або сочевицеподібної форми і досягають розміру 25–40 мкм, у жита – овальної з характерною трищиною, розміром 40–50 мкм [5]. Крохмаль пшениці має бімодальний характер розподілу за розмірами: великі гранули А-типу та маленькі гранули В-типу [6–8]. Гранули А-типу мають сочевицеподібну форму та діаметр від 10 до 40 мкм, тоді як гранули В-типу сферичної форми і менші за 10 мкм [9, 10]. У окремих сортів тритикале трапляються гранули розміром до 47 мкм [11]. Гранули типів А та В закладаються в різний час у різних місцях ендосперму, що спричиняє різний розмір та форму [10, 12, 13].

Можливий розподіл гранул крохмалю пшениці також на три типи [6, 7, 10], причому додатковий пік може бути спричинений або гранулами типу А, які не були повністю розвинені чи їх формування закінчувалося на більш ранній стадії, ніж у інших сортів (можливо, раніше починається формування В-гранул), або відображає відносно безконтрольний ріст [14]. Wilson J. D. та ін. [7] класифікували гранули за розміром на три групи: А-тип (> 15 мкм), В-тип (5–15 мкм) та С-тип (< 5 мкм).

Гранули крохмалю зернових культур різняться за морфологією поверхні, що впливає на фізико-хімічні властивості крохмалю та, відповідно, борошна [15]. Крім різниці в розмірах та морфології гранули типів А і В можуть незначно різнитися за вмістом амілози [16, 17].

Від розмірів крохмальних гранул залежить їх ферментабельність. Порівняно з великими дрібні гранули крохмалю характеризуються більшою площею поверхні на одиницю маси, що, своєю чергою, збільшує площу реагування з ферментами на шляху перетворення крохмалю на біоетанол [3]. Розмір гранул також негативно співвідноситься із си-нерезисом (стиснення крохмального гелю) і стійкістю крохмалю до дії ферментів [18].

У літературі наводяться результати визначення розмірів крохмальних гранул у різних культур, проте майже не висвітленими залишаються такі питання, як варіювання розмірів гранул у межах виду та особливості і характер їх успадкування. Нашими попередніми дослідженнями [11] встановлено, що між колекційними зразками тритикале існує достовірна різниця за середнім розміром крохмальних гранул та їх розподілом. У ліній зубоподібної та воскоподібної кукурудзи розмір гранул різний і успадковується за типом позитивного наддомінування [19]. У гібридів тритикале вміст крохмалю успадковується в основному за типом проміжного домінування та депресії. Існує також можливість варіювання розміру крохмальних гранул залежно від умов вирощування [20, 21]. У пшениці генотип сорту значною мірою впливає на синерезис та ферментативну засвоюваність крохмалю, що вказує на успадковуваність цих характеристик [18].

**Мета досліджень** – вивчити гранулометричний склад крохмалю зерна колекційних зразків тритикале озимого (*Triticosecale* Wittm.) та виявити форми з мінімальною варіативністю розмірів крохмальних гранул для подальшого створення вихідного матеріалу в селекції сортів, оптимальних щодо виробництва крохмалю та біоетанолу.

**Матеріал і методика.** Дослідження виконано у 2016, 2017 рр. у відділі селекції і насінництва зернових культур ННЦ «Інститут землеробства НААН», для чого використано 142 колекційні зразки, сорти і селекційні лінії тритикале озимого та 22 зразки пшениці озимої (як контроль), вирощених у селекційній сівозміні інституту в окремому досліді на єдиному агротехнічному фоні. Після збирання до моменту відбору проб зразки зберігали у сухому селекційному боксі.

**Підготовка крохмалю.** Для аналізу з кожного зразка відбирали по 10 зернин. Об'єднану пробу розмелювали на лабораторному млинку МЛ-1. Для приготування препарату брали 20–30 мг розмеленого зерна. Крохмаль борошна забарвлювали у 2 мл розчину Люголя без гліцерину (5 % йоду, 10 % йодиду калію, 85 % дистильованої води). Приготований препарат витримували 1 хв для часткового забарвлення гранул та більше 5 хв – для повного забарвлення.

**Мікроскопія та вимірювання.** Гранулометричну структуру крохмалю досліджували методом світлової мікроскопії у поєднанні з цифровим аналізом зображень. Використовували мікроскоп НБИ-3 та цифрову USB-камеру. Розмір гранул визначали за допомогою комп'ютерної програми ImageJ. За основу взяли бімодальний характер розподілу крохмальних гранул за розмірами [6–8]. До уваги брали лише великі гранули крохмалю (А-типу), гранули розміром менше 10 мкм не враховували, оскільки об'єм крохмалю в таких гранулах незначний [7]. Оскільки

гранули А-типу мають дещо лінзоподібну форму, то за розташування їх у препараті під кутом до об'єктиву справжнім діаметром вважали максимальний розмір овалу.

*Статистичний аналіз.* Кількість вимірювань по кожному зразку (25–40 вимірювань) була достатньою для отримання нормальної кривої розподілу значень та, відповідно, достовірних даних, що було підтверджено емпіричним порівнянням гістограми із кривою Гауса. Для аналізу даних використовували параметричні методи варіаційної статистики, регресійний та факторний аналізи за допомогою ліцензійних програм Microsoft Office Excel 2007 та STATISTICA 8.0.360.

**Обговорення результатів.** Основну увагу приділяли тритикале як перспективній культурі в умовах українського Полісся та північної частини Лісостепу.

*Розподіл гранул крохмалю за розмірами.* Для визначення розміру крохмальних зерен було проаналізовано 142 зразки гексаплоїдного озимого тритикале та 22 зразки озимої м'якої пшениці (контроль). Оскільки структура крохмалю тритикале та пшениці м'якої дуже подібна, а дослідженню гранулометричного складу пшениці приділено значно більше уваги, вказані 22 зразки пшениці були використані як контроль (для порівняння із крохмалем тритикале). Як бачимо із таблиці 1, крохмальні гранули тритикале дослідженої вибірки як за розмірами, в тому числі за максимальним, мінімальним та середнім значенням, так і за розмахом варіації перевищували крохмальні гранули досліджених сортів пшениці, що збігається з літературними даними. Відмінності між середніми за всіма ознаками статистично достовірні на високому рівні значення Р (більше 99 % за розмірами та більше 95 % за розмахом варіації).

**Таблиця 1. Оцінка різниці між розмірами гранул крохмалю тритикале і пшениці за критерієм Стьюдента (t)**

Культура	Кількість зразків	Середній розмір крохмальних гранул, мкм			Коефіцієнт варіації середніх, %
		максимум	мінімум	середнє	
Тритикале	142	27,4	13,7	19,0	20,0
Пшениця	22	25,1	13,1	17,9	17,8
t статистичне		2,8600	4,2928	4,1256	2,1993
t критичне		2,0400	2,0076	2,0369	2,0484
P		0,0076	0,0001	0,0002	0,0363

Результати проведених вимірювань показали, що зразки тритикале мають суттєву різницю в середньому розмірі крохмальних гранул за значної дисперсії. Cornejo-Ramirez Y. I. et al. [22] повідомляють про розміри гранул А-типу в межах 18–41 мкм у стандартних тритикале та 8–38 мкм у D-R-хромосомно заміщених тритикале. Ми відібрали дев'ять зраз-

ків (табл. 2), які різняться між собою за середнім розміром крохмальних гранул та представляють увесь спектр розмірів гранул дослідженої колекції. Найменше значення середнього розміру гранул було у сорту Яша (15,79 мкм), найбільше – у лінії 244/16 (24,20 мкм). Інші зразки мають середній розмір гранул від 16,23 до 22,56 мкм.

**Таблиця 2. Розмір крохмальних гранул у колекційних зразків тритикале озимого**

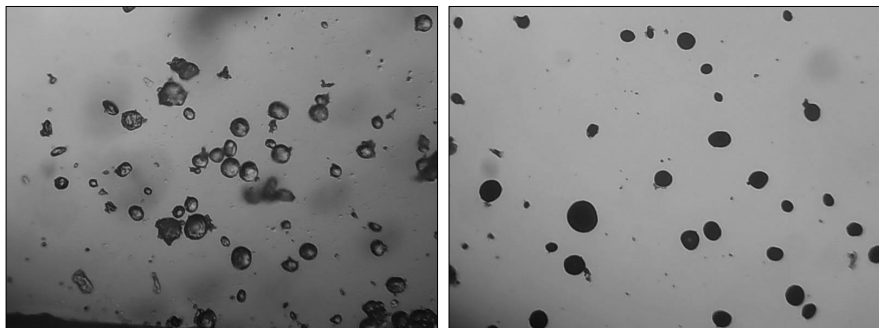
Сорт, лінія	Розмір крохмальних гранул, мкм			Дисперсія
	максимум	мінімум	середнє	
244/16	37,72	15,96	24,20	51,60
178/16	32,46	14,26	22,56	31,49
176/16	28,62	13,83	20,17	22,64
187/16	28,19	12,95	19,04	20,12
190/16	26,75	13,51	18,96	13,47
Легіон	26,22	14,52	18,70	12,35
Мундо	19,50	13,11	16,24	3,19
Петрол	19,07	13,51	16,23	3,20
Яша	19,02	13,11	15,79	3,75
НІР <sub>05</sub>			2,9	

Зразків із розміром гранул більше 30,5 мкм було менше 1,0 % від чисельності всієї колекції. Найбільші гранули серед досліджуваних зразків відмічено у ліній 181/16 (43,12 мкм), 239/16 (41,16 мкм), 223/16 (41,09 мкм). У переважної більшості зразків крохмальні гранули мали розмір від 12,0 до 30,0 мкм. Слід зазначити, що для переробки на біоетанол найкраще підходять сорти із дрібними гранулами крохмалю, які мають більшу площу впливу ферментів [3]. Найменший розмір гранул мають зразки 147/16 (12,23 мкм), 134/16 (12,20 мкм), Карлик (12,20 мкм) та інші.

Зображення крохмальних гранул у зерні зразків тритикале представлено на рисунку 1. З часом під впливом йоду поступово змінюється ступінь забарвлення крохмальних гранул – від часткового до повного.

Зерно сортів і зразків тритикале, що мають вирівняні за розмірами гранули крохмалю, більш придатне для подальшої переробки. Тому актуальним є визначення однорідності цієї ознаки у різних зразків. Найменшу варіативність серед досліджуваних колекційних зразків встановлено у лінії 145/16 (10,97 %), найбільшу – у лінії 181/16 (37,56 %). Переважна більшість зразків мали коефіцієнт варіації у межах 12–30 %.

Значення варіативності зразків з різним середнім розміром крохмальних гранул наведено в таблиці 3. Найбільш неоднорідними за цією ознакою можна вважати лінії 244/16, 178/16 і 176/16 (коефіцієнти варіації відповідно 29,68; 24,87 і 23,59). Найменшою варіативністю відзначаються



Частково забарвлені гранули

Повністю забарвлені гранули

**Рис. 1.** Фотографії гранул крохмалю тритикале озимого під мікроскопом

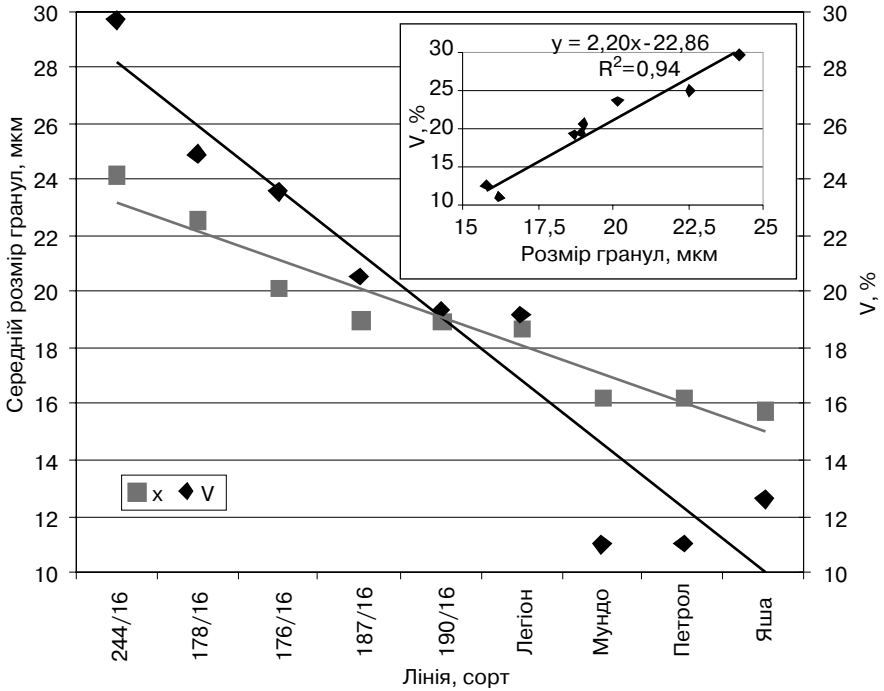
сортів тритикале Мундо, Петрол і Яша, що мають коефіцієнти варіації від 10,99 до 12,60.

**Таблиця 3. Варіативність розміру крохмальних гранул у зразках тритикале озимого**

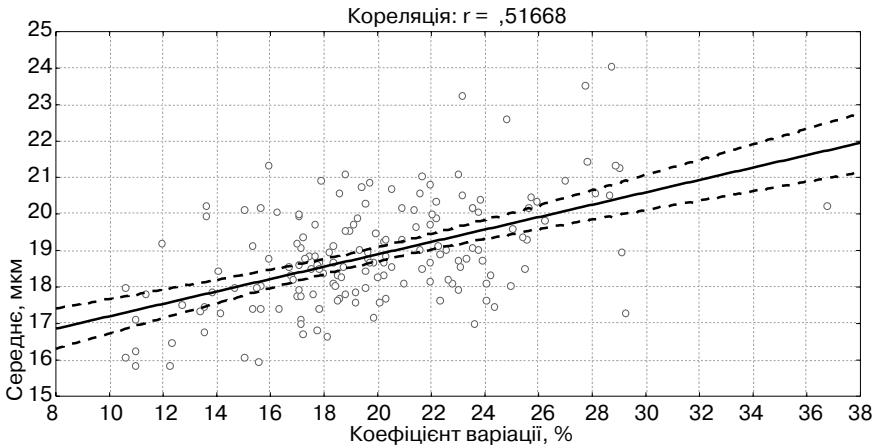
Сорт, лінія	Коефіцієнт варіації, %	Середній розмір крохмальних гранул, мкм
244/16	29,68	24,20
178/16	24,87	22,56
176/16	23,59	20,17
187/16	20,53	19,04
190/16	19,35	18,96
Леґіон	19,15	18,70
Мундо	10,99	16,24
Петрол	11,03	16,23
Яша	12,60	15,79

*Статистичний аналіз ознак варіативності.* Аналізуючи дані таблиць 1 і 2, можна помітити, що зразки з високим коефіцієнтом варіації мають також і більший середній розмір гранул. Так, лінія 244 з найбільшим середнім розміром (24,20 мкм) має і найбільший коефіцієнт варіації (29,68), тоді як сорти з низькою варіативністю характеризуються малим середнім розміром крохмальних гранул, наприклад сорт Мундо. Для покращення візуалізації зразки розподілено у порядку зменшення розміру гранул (рис. 2).

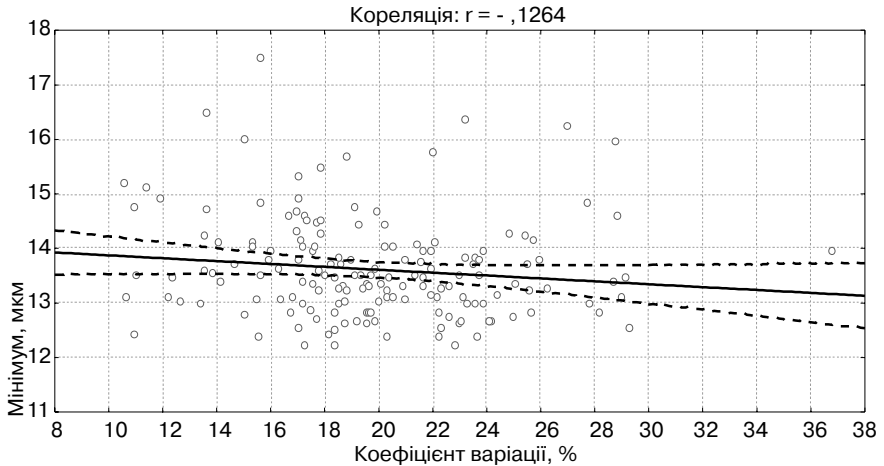
Оскільки для селекційно-генетичних досліджень краще підбирати зразки з мінімальною варіативністю ознаки, нами проведено регресійний аналіз варіативності до середнього, мінімального та максимального значення (рис. 3–5). Кореляція коефіцієнта варіації з мінімальним розміром гранул була незначною, із середнім розміром зв'язок був середньої сили ( $r = 0,52$ ), із максимальним розміром гранул виявлено сильний зв'язок ( $r = 0,87$ ).



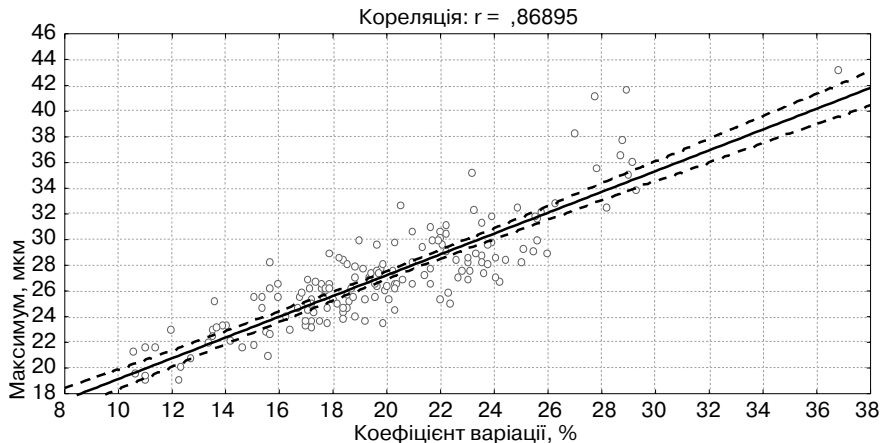
**Рис. 2.** Середній розмір крохмальних гранул зразків тритикале та однорідність розміру  
**Примітка.** x – середнє значення; V – коефіцієнт варіації.



**Рис. 3.** Парна лінійна регресія коефіцієнта варіації до середнього розміру крохмальних гранул 164 зразків тритикале та пшениці



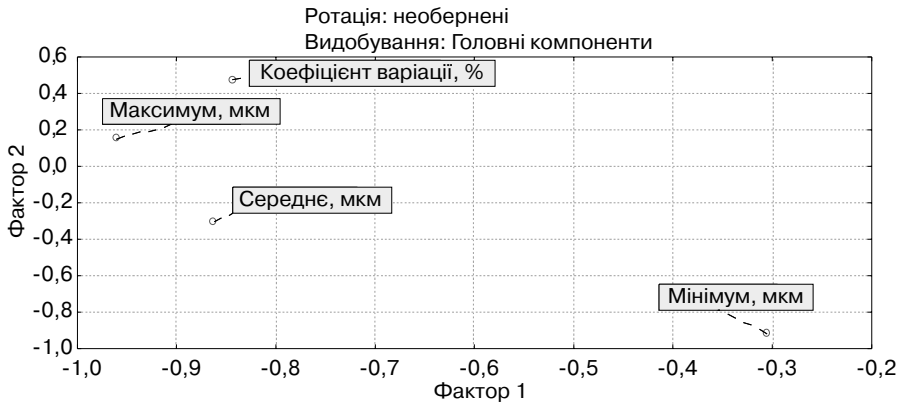
**Рис. 4.** Парна лінійна регресія коефіцієнта варіації до мінімального розміру крохмальних гранул 164 зразків тритикале та пшениці



**Рис. 5.** Парна лінійна регресія коефіцієнта варіації до максимального розміру крохмальних гранул 164 зразків тритикале та пшениці

Групування статистичних показників розміру крохмальних гранул, проведене за допомогою факторного аналізу (рис. 6), показує, що середні значення та варіативність ознаки значно більше залежать від фактору максимального розміру, ніж від мінімального. Таким чином, встановлено, що найменша варіативність розмірів крохмальних зерен спостерігається у зразків з малими максимальним та середнім розмірами гранул, тобто з відсутністю великих гранул.





**Рис. 6.** Факторний аналіз статистичних показників розміру крохмальних гранул 164 зразків тритикале та пшениці

**Висновки.** Виявлено значну різницю тритикале озимого за розміром крохмальних гранул у межах виду, між окремими лініями і сортами. Отримані результати можуть бути використані у подальшій селекції сортів тритикале для переробки на біоетанол. Мінімальний коефіцієнт варіації розмірів крохмальних гранул виявлено у зразків з найменшим їх максимальним розміром. У селекції сортів тритикале для виробництва крохмалю на технічні цілі попередньо рекомендується використовувати лінії 202, 206 та 220, які мають великий середній розмір крохмальних гранул та середній коефіцієнт варіації. Для селекції сортів спирто-дистильатного напрямку технологічного використання зерна рекомендуються сорти Петрол, Яша та Мундо, які мають невеликий розмір крохмальних гранул та малу варіативність.

#### Список використаних джерел

1. Рибалка О. І. Якість пшениці та її поліпшення. Київ : Логос, 2011. 496 с.
2. Червоніс М. В., Сурженко І. О. Селекційні критерії сортів та гібридів зернових культур для виробництва біоетанолу. *Збірник наукових праць СГІ–НЦНС*. Одеса : СГІ–НЦНС, 2009. Вип. 14. С. 27–36.
3. Рибалка О. І., Червоніс М. В., Моргун Б. В., Починок В. М., Поліщук С. С. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистильатного напрямку технологічного використання зерна. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2013. Т. 45, № 1. С. 3–19.
4. *Технологія крахмала і крахмалопродуктів* / под ред. Н. Н. Трегубова. Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1981. 472 с.
5. Нілова Л. П. Товароведение и экспертиза зерномучных товаров. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2005. 416 с.
6. Raeker M. O., Gaines C. S., Finney P. L., Donelson T. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry*. 1998. Vol. 75, Iss. 5. P. 721–728. doi: 10.1094/CCHEM.1998.75.5.721

7. Wilson J. D., Bechtel D. B., Todd T. C., Seib P. A. Measurement of wheat starch granule size distribution using image analysis and laser diffraction technology. *Cereal Chemistry*. 2006. Vol. 83, Iss. 3. P. 259–268. doi: 10.1094/CC-83-0259
8. Ao Z., Jane J.-L. Characterization and modeling of the A- and B-granule starches of wheat, triticale, and barley. *Carbohydrate Polymers*. 2007. Vol. 67, Iss. 1. P. 46–55. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.04.013
9. Evers A. D., McDermott E. E. Scanning electron microscopy of wheat starch. II. Structure of granules modified by alpha-amylolysis – preliminary report. *Starch*. 1970. Vol. 22, Iss. 1. P. 23–26. doi: 10.1002/star.19700220107
10. Meredith P. Large and small starch granules in wheat – are they really different? *Starch*. 1981. Vol. 33, Iss. 2. P. 40–44. doi: 10.1002/star.19810330202
11. Стариченко В. М., Корягін О. М., Шляхтуров Д. С. Порівняльний аналіз гранулометричного складу крохмалю зразків тритикале озимого. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. № 3. С. 58–62. doi: 10.21498/2518-1017.3(32).2016.75981
12. Evers A. D. Scanning electron microscopy of wheat starch. III. Granule development in the endosperm. *Starch*. 1971. Vol. 23, Iss. 5. P. 157–162. doi: 10.1002/star.19710230502
13. Baruch D. W., Meredith P., Jenkins L. D., Simmons L. D. Starch granules of developing wheat kernels. *Cereal Chemistry*. 1979. Vol. 56, Iss. 6. P. 554–558.
14. Dengate H., Meredith P. Variation in size distribution of starch granules from wheat grain. *Journal of Cereal Science*. 1984. Vol. 2, Iss. 2. P. 83–90. doi: 10.1016/S0733-5210(84)80021-1
15. Kim H. S., Huber K. C. Channels within soft wheat starch A- and B-type granules. *Journal of Cereal Science*. 2008. Vol. 48, Iss. 1. P. 159–172. doi: 10.1016/j.jcs.2007.09.002
16. Soulaka A. B., Morrison W. R. The amylose and lipid contents, dimensions, and gelatinization characteristics of some wheat starches and their A- and B-granule fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1985. Vol. 36, Iss. 8. P. 709–718. doi: 10.1002/jsfa.2740360811
17. Peng M., Gao M., Abdel-Aal E. S., Hucl P., Chibbar R. N. Separation and characterization of A- and B-type starch granules in wheat endosperm. *Cereal Chemistry*. 1999. Vol. 76, Iss. 3. P. 375–379. doi: 10.1094/CCHEM.1999.76.3.375
18. Nhan, M. T., Copeland, L. Effects of genotype and growing locations on properties of wheat starch gels. *International Journal of Food Science & Technology*. 2015. Vol. 50, Iss. 9. P. 1945–1952. doi: 10.1111/ijfs.12850.
19. Тимчук С. М., Мартинюк М. М., Поздняков В. В., Тимчук В. М., Анциферова О. В., Харченко Ю. В., Харченко Л. Я. Генетичний аналіз основних ознак якості гранулярного крохмалю у зубовидної та восковидної кукурудзи. *Селекція і насінництво*. 2012. Вип. 101. С. 198–206.
20. Грабовец А. И., Андреев Н. Р., Крохмаль А. В., Шевченко Н. А. Проблемы селекции тритикале с высоким содержанием крахмала в зерне и его использование. *Доклады РАСХН*. 2013. № 5. С. 14–16.
21. 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.
22. 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-Gastelum A. G. Physicochemical characterization of starch from hexaploid triticale (*× Triticosecale Wittmack*) genotypes. *CyTA – Journal of Food*. 2015. Vol. 13, Iss. 3. P. 420–426. doi: 10.1080/19476337.2014.994565

## References

1. Rybalka, O. I. (2011). Wheat Quality and Its Improvement. Kyiv: Lohos. [in Ukrainian]
2. Chervonis, M. V., & Surzhenko, I. O. (2009). Genetic and breeding criteria of the starch to bioethanol transformation in crop varieties. *Collected Scientific Works of the Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation of UAAS*, 14, 27–36. [in Ukrainian]
3. 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. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 45(1), 3–19. [in Ukrainian]
4. Tregubova, N. N. (1981). Technology of Starch and Starch Products. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ. [in Russian]
5. Nilova, L. P. (2005). Commodity Research and Expertise of Grain Flour Products. St. Petersburg: GIORP Publ. [in Russian]
6. Raekker M., Gaines, C. S., Finney, P. L., & Donelson, T. (1998). Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chem.*, 75(5), 721–728. doi: 10.1094/CCHEM.1998.75.5.721
7. Wilson, J. D., Bechtel, D. B., Todd, T. C., & Seib, P. A. (2006). Measurement of wheat starch granule size distribution using image analysis and laser diffraction technology. *Cereal Chem.*, 83(3), 259–268. doi: 10.1094/CC-83-0259
8. Ao, Z., & Jane, J.-L. (2007). Characterization and modeling of the A-and B-granule starches of wheat, triticale, and barley. *Carbohydr. Polym.*, 67(1), 46–55. doi: 10.1016/j.carbpol.2006.04.013
9. Evers, A. D., & McDermott, E. E. (1970). Scanning electron microscopy of wheat starch II. Structure of granules modified by alpha-amylolysis – preliminary report. *Starch*, 22(1), 23–26. doi: 10.1002/star.19700220107
10. Meredith, P. (1981). Large and small starch granules in wheat – are they really different? *Starch*, 33(2), 40–44. doi: 10.1002/star.19810330202
11. Starychenko, V. M., Koriahin O. M., & Shliakhturov, D. S. (2016). Comparative analysis of starch grain size distribution in winter triticale samples. *Plant Varieties Studying and Protection*, 3, 58–62. [in Ukrainian]. doi: 10.21498/2518-1017.3(32).2016.75981
12. Evers, A. D. (1971). Scanning electron microscopy of wheat starch. III. Granule development in the endosperm. *Starch*, 23(5), 157–162. doi: 10.1002/star.19710230502
13. Baruch, D. W., Meredith, P., Jenkins, L. D., & Simmons, L. D. (1979). Starch granules of developing wheat kernels. *Cereal Chem.*, 56(6), 554–558.
14. Dengate, H., & Meredith, P. (1984). Variation in size distribution of starch granules from wheat grain. *J. Cereal Sci.*, 2(2), 83–90. doi: 10.1016/S0733-5210(84)80021-1
15. Kim, H. S., & Huber, K. C. (2008). Channels within soft wheat starch A- and B-type granules. *J. Cereal Sci.*, 48(1), 159–172. doi: 10.1016/j.jcs.2007.09.002
16. Soulaka, A. B., & Morrison, W. R. (1985). The amylose and lipid contents, dimensions, and gelatinization characteristics of some wheat starches and their A-and B-granule fractions. *J. Sci. Food Agric.*, 36(8), 709–718. doi: 10.1002/jsfa.2740360811
17. Peng, M., Gao, M., Abdel-Aal, E. S., Hucl, P., & Chibbar, R. N. (1999). Separation and characterization of A-and B-type starch granules in wheat endosperm. *Cereal Chem.*, 76(3), 375–379. doi: 10.1094/CCHEM.1999.76.3.375
18. Nhan, M. T., & Copeland, L. (2015). Effects of genotype and growing locations on properties of wheat starch gels. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 50(9), 1945–1952. doi: 10.1111/ijfs.12850
19. Tymchuk, S. M., Martyniuk, M. M., Pozdniakov, V. V., Tymchuk, V. M., Antsyferova, O. V., Kharchenko, Yu. V., & Kharchenko, L. Ya. (2012). Genetic analysis of the main features of granular starch in dent and waxy maize. *Plant Breeding and Seed Production*, 101, 198–206. [in Ukrainian]

20. Grabovets, A. I., Andreev, N. R., Krokmal, A. V., & Shevchenko, N. A. (2013). Problems of breeding triticale with high content of starch in grain and its use. *Russian Agricultural Sciences*, 5, 14–16. [in Russian]
21. Grabovets, A. I., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., & Khrichikova, G. N. (2015). Triticale breeding for fermentation production: results and problems. *Legumes and Groat Crops*, 2, 63–68. [in Russian]
22. Cornejo-Ramirez, Y. I., Cinco-Moroyoqui, F. J., Ramirez-Reyesm F., Rosas-Burgosm E. C., Osuna-Amarillas, P. S., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., & Cota-Gastelum, A. G. (2015). Physicochemical characterization of starch from hexaploid triticale ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack) genotypes. *CyTA J. Food*, 13(3), 420-426. doi: 10.1080/19476337.2014.994565

## Анализ гранулометрического состава крахмала коллекционных образцов тритикале озимого

Стариченко В. М., кандидат сельскохозяйственных наук  
Левченко О. С.

ННЦ «Институт земледелия НААН Украины»

Украина, 08162, пгт Чабаны, ул. Машиностроителей, 2б, Киево-Святошинский район Киевской обл.

e-mail: stvas@ukr.net, feniks1213@gmail.com

**Цель.** Изучить гранулометрический состав крахмала в зерне коллекционных образцов тритикале озимого (*Triticosecale* Wittm.) и выявить формы с минимальной вариативностью размеров крахмальных гранул для дальнейшего создания исходного материала в селекции сортов, оптимальных для производства крахмала и биоэтанола. **Методы.** Исследования выполнены в 2016, 2017 гг. в отделе селекции и семеноводства зерновых культур ННЦ «Институт земледелия НААН» с использованием 142 коллекционных образцов, сортов и селекционных линий тритикале гексаплоидного озимого и 22 образцов пшеницы мягкой озимой (как контроль), выращенных в селекционном севообороте института в отдельном опыте на едином агротехническом фоне. Гранулометрическую структуру крахмала исследовали методом световой микроскопии размолотых зерен в сочетании с цифровым анализом изображений. Для обработки данных использовали параметрические методы вариационной статистики, регрессионный и факторный анализы с помощью лицензионных программ Microsoft Office Excel 2007 и StatSoft STATISTICA 8.0.360. **Результаты.** Проведенный анализ 164 образцов тритикале и пшеницы по размеру гранул крахмала показал вариативность этого признака. Подавляющее большинство образцов имели коэффициент вариации в пределах 12–30 %. У тритикале средний размер гранул максимальным был у линии 244/16 (24,20 мкм), минимальным – у сорта Яша (15,79 мкм). У исследуемых образцов размер подавляющего большинства гранул составлял 16–22 мкм, но распределение их по размеру в пределах выборки было неравномерным. Наименьшая вариативность установлена у линии 145/16 (10,97 %), наибольшая – у линии 181/16 (37,56 %). **Выводы.** Установлена значительная разница тритикале озимого по размеру крахмальных гранул в пределах вида, между отдельными линиями и сортами. Минимальный коэффициент вариации размеров крахмальных гранул был у образцов с наименьшим их средним размером. Как источники в селекции сортов тритикале для производства крахмала на технические цели предварительно рекомендуем линии 202, 206 и 220, а для спирто-дистиллятного направления технологического использования зерна – сорта Петрол, Яша и Мундо.

**Ключевые слова:** тритикале, крахмаль, гранулометрический состав

## Analysis of granulometric composition of starch in collection samples of winter triticale

Starychenko V. M., Candidate of Agricultural Sciences  
Levchenko O. S.

National Scientific Center "Institute of Agriculture of NAAS"

2b, Mashynobudivnykiv St., Chabany urban village, Kyiv-Sviatoshyn district, Kyiv region, 08162, Ukraine

e-mail: stvas@ukr.net; feniks1213@gmail.com

**Purpose.** To study the granulometric composition of starch in grain of collection samples of winter triticale (*Triticosecale* Wittm.) and to identify forms with minimal variation in the size of starch granules for further creation of source material when breeding varieties being optimal for starch and bioethanol production. **Methods.** The studies were carried out in 2016, 2017 at the department of breeding and seed production of grain crops of the NSC "Institute of Agriculture of NAAS" with 142 collection samples, varieties and breeding lines of hexaploid winter triticale and 22 samples of bread winter wheat (as a control) grown in breeding crop rotation of the Institute in individual experiment on uniform agrotechnical background. The granulometric structure of starch was investigated by light microscopy of milled triticale grains in combination with digital image analysis. For data processing, parametric methods of variation statistics, regression and factor analysis were used using licensed programs Microsoft Office Excel 2007 and StatSoft STATISTICA 8.0.360. **Results.** The analysis of 164 samples of triticale and wheat by the size of starch granules showed the variability of this trait. The most of the samples had variation coefficient in the range of 12–30 %. In triticale, the average granule size was maximal in the line 244/16 (24.20  $\mu\text{m}$ ), and minimal one was in the Yasha variety (15.79  $\mu\text{m}$ ). In the samples studied, the size of the most of the granules was 16–22  $\mu\text{m}$ , but size distribution within the sampling was uneven. The least variability was found in the line 145/16 (10.97 %), the most one in the line 181/16 (37.56 %). **Conclusions.** A significant difference between winter triticale by starch granule size within the species, between individual lines and varieties was established. The minimum coefficient of variation of the starch granules size was in samples with the least average size. The lines 202, 206 and 220 are recommended as sources in breeding triticale varieties to produce starch for technical purposes, and the varieties Petrol, Yasha and Mundo for the alcohol-distillate direction of the technological use of grain.

**Key words:** *triticale, starch, granulometric composition*