

Порівняльний аналіз гранулометричного складу крохмалю зразків тритикале озимого

В. М. Стариченко*, О. М. Корягін, Д. С. Шляхтуров

ННЦ «Інститут землеробства НААН», вул. Машинобудівників, 2-б, смт Чабани, Києво-Святошинський р-н, Київська обл., 08162, Україна, *e-mail: stvas@ukr.net

Мета. Визначити можливість диференціації зразків за розміром крохмальних зерен та виявлення зразків з мінімальним розміром гранул, що має значну позитивну кореляцію з ефективністю трансформації крохмалю в етанол. **Методи.** Світлова мікроскопія розмелених зерен тритикале. **Результати.** Проведено аналіз зразків тритикале за розміром гранул крохмалю. Середній розмір гранул був мінімальним у лінії Кс-270/14 (23,78 мкм), максимальним – у лінії Кр-110/14 (28,06 мкм). Розмір гранул крохмалю у сорту пшениці озимої м'якої 'Цвіт Калини' становив 24,2 мкм, що було в межах значень, типових для сортів та ліній тритикале озимого. У переважної більшості гранул розмір варіював від 15 до 35 мкм, але розподіл їх за розміром був нерівномірним у досліджуваних ліній. **Висновки.** Встановлено значний поліморфізм тритикале озимого за розміром гранул крохмалю. Виявлено, що найменший середній розмір крохмальних зерен спостерігався у зразків з найменшим максимальним розміром гранул, низькою частотою трапляння гранул з розмірами понад 35 мкм та, відповідно, мінімальною дисперсією. Це дає підставу зробити припущення про можливість оцінювання зразка за наявністю гранул розміром понад 35 мкм, що значно зменшить кількість вимірювань та прискорить аналіз.

Ключові слова: тритикале, крохмаль, гранулометричний склад.

Вступ

Сорти порівняно нової культури тритикале озимого є конкурентоспроможними і будуть надалі стрімко вдосконалюватися. За останнє десятиліття тритикале стало однією з найперспективніших високоврожайних зернових культур. Зростають посівні площі, посилюється пошук ефективних методів створення нових форм, технологій вирощування й переробки зерна тритикале для різних галузей промисловості [1]. Одна з таких форм переробки зерна тритикале – виробництво на його основі біоетанолу.

Розв'язання проблеми підвищення ефективності виробництва біоетанолу шляхом удосконалення тритикале озимого за допомогою селекції й використання досягнень геноміки та біотехнології є сьогодні актуальним завданням. Реалізація його дасть можливість розширити й удосконалити сировинну базу для забезпечення в найближчому майбутньому якісних змін в біоенергетиці України [2, 3].

Крохмаль зерна є основним продуктом, який під дією гідролітичних ферментів трансформується в етанол. Тому одним з найваж-

ливіших показників для сортів спиртодистильного напрямку використання зерна має бути високий вміст крохмалю в зерні та його якісний склад. Фізико-хімічні властивості крохмалю зернових культур залежать від багатьох чинників. Одним з основних є розмір та форма крохмальних гранул. Тип розвитку ендосперму й формування крохмальних зерен тритикале схожий з твердою пшеницею, житою і твердозерною червоною ярою пшеницею. Форма й розмір гранул тритикале та пшениці є подібними між собою, останній становить від 24 до 35 мкм [3, 4].

Крохмальні зерна в основному є сферичними, проте трапляються й багатокутні форми. Тритикале має тритикоїдний тип крохмалю. У проса та інших панікоїдних злаків крохмальні зерна прості, але не менше варіюють за розміром і мають гранчасту поверхню; у вівсяниці та багатьох інших фестукоїдних злаків крохмальні зерна складні, складаються з дрібніших гранул [5].

Дрібні гранули крохмалю порівняно з великими характеризуються більшою площею поверхні на одиницю маси. Такий тип гранул легше піддається механічному руйнуванню під час розмелу, що, в свою чергу, збільшує площу реагування з ферментами на шляху перетворення крохмалю на біоетанол [3].

Інформація про розміри крохмальних зерен, яку наведено в літературі, стосується в основному гранулометричного складу крохмалю в середньому по культурі, не приділено достат-

Vasyl Starychenko
<http://orcid.org/0000-0002-4551-8263>

Aleksey Korjagin
<http://orcid.org/0000-0003-0090-6083>

Denis Shlyahurov
<http://orcid.org/0000-0001-9621-7244>

ньо уваги можливого варіюванню розміру гранул у різних сортів. Є дані [6], що у зубовидної та восковидної кукурудзи розмір гранул у лінній відрізняється та успадковується за типом позитивного наддомінування. Грабовець А. І. та ін. [7, 8] зазначає, що успадкування вмісту крохмалю у гібридів тритикале відбувається в основному за типом проміжного домінування та депресії, а також вказує на можливість варіювання розміру крохмальних гранул залежно від умов вирощування.

Мета досліджень – вивчити гранулометричний склад крохмалю сортів і номерів тритикале озимого для визначення можливості диференціації зразків за розміром крохмальних зерен та виявлення зразків з мінімальним розміром гранул, що має значну позитивну кореляцію з ефективністю трансформації крохмалю в етанол.

Матеріали та методика досліджень

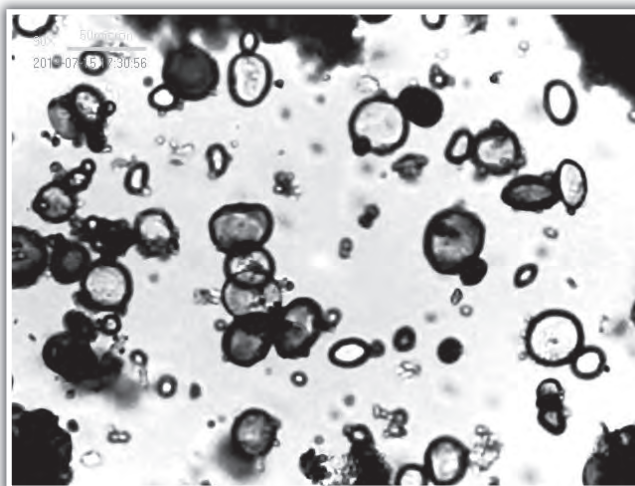
Дослідження виконано в 2014–2015 рр. у відділі селекції і насінництва зернових культур ННЦ «Інститут землеробства НААН». Як матеріал для досліджень використовували сорти й селекційні зразки тритикале озимого селекції ННЦ «Інститут землеробства НААН». Для порівняння також було використано сорт пшениці м'якої озимої 'Цвіт Калини'.

Гранулометричну структуру досліджували методом світлової мікроскопії. Використовували мікроскоп НБИ-3 та цифрову USB-камеру. Зразки розмелювали в лабораторному млинку МЛ-1, крохмаль забарвлювали у розчині Люголя. Розмір гранул визначали за допомогою шкали USB-камери. Вимірювали всі гранули в полі зору мікроскопа за збільшенням 90х, поле зору зміщували до досягнення $n = 100$. До уваги брали лише великі гранули крохмалю, гранули розміром 2–6 мкм не враховували, оскільки їхня кількість була невеликою, а варіювання розміру – незначним.

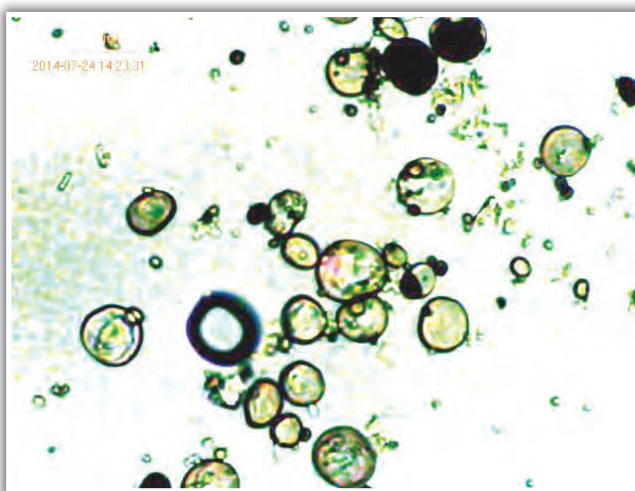
Результати досліджень

Зображення гранул окремих зразків тритикале наведено на рисунку 1. Як бачимо, основну масу становлять великі гранули крохмалю (понад 10 мкм). Кількість дрібних гранул (2–6 мкм) є незначною. Гранули розміром 6–10 мкм трапляються дуже рідко.

Внаслідок проведених вимірювань було виявлено, що зразки мають істотну та достовірну різницю в середньому розмірі крохмального зерна за значної дисперсії (табл. 1). Середній розмір гранул був мінімальним у лінії Кс-270/14 – 23,78 мкм, максимальним – у лінії Кр-110/14 – 28,06 мкм. Розмір гранул крохмалю у сорту пшениці озимої м'якої



Тритикале озиме, № Кр-110/14



Тритикале озиме, № Кс-236/14

Рис. 1. Гранули крохмалю тритикале озимого під мікроскопом

'Цвіт Калини' становив 24,2 мкм, що було в межах значень сортів та ліній тритикале озимого. Гранули виявилися найбільшими в лінії Кр-110/14, Кс-243/14 та Кс-236/14 – 47,7–47,74 мкм, але їхня кількість була незначною. Також варто зазначити, що у сорту пшениці 'Цвіт Калини' та лінії тритикале Кр-110/14 мінімальний розмір гранул становив 16,8 та 16,3 мкм відповідно, тоді як в інших номерів до 10% гранул мали розмір 11–15 мкм. При цьому зауважимо, що для переробки на біоетанол найкраще підходять сорти з дрібними гранулами, тоді як для виробництва крохмалю переробникам потрібні сорти з якомога більшими крохмальними зернами.

Було проведено аналіз частотного розподілу гранул крохмалю за розмірами з кроком категорії 5 мкм. Нижня межа категорій становила 5 мкм, верхня – 50 мкм, оскільки не було виявлено гранул більшого розміру. Розподіл крохмальних зерен за розмірами згідно

Таблиця 1

Розмір гранул крохмалю зразків пшениці озимої та тритикале озимого, мкм

Культура	Сорт, зразок	Розмір гранул			Дисперсія
		середній	мінімальний	максимальний	
Пшениця озима	‘Цвіт калини’	24,20	16,80	44,20	33,40
	‘Поліський 7’	25,60	11,90	45,60	54,60
Тритикале озиме	‘Мольфар’	24,78	12,10	46,80	59,60
	Кр-85/14	25,57	15,69	38,90	31,24
	Кр-110/14	28,06	16,30	47,74	47,61
	Кс-270/14	23,75	11,30	43,31	39,51
	Кс-243/14	24,39	9,44	47,70	63,71
	Кс-236/14	26,66	11,31	47,70	82,17
НІР ₀₅		0,96			

з категоріями для найхарактерніших зразків наведено в таблиці 2. Переважна більшість гранул мали розмір у межах 15–35 мкм, але розподіл їх у досліджуваних ліній виявився нерівномірним. У зразків Кс-270/14 та Кс-243/14 розмір найбільшої кількості гранул (29,2 та 28,1% відповідно) коливався в межах 20–25 мкм. Гранули розміром понад 35 мкм виявлено в зерні зразка Кс-236/14 з частотою 11,5%, у Кс-243/14 – 5,2, у Кс-270/14 – 4,2%. Крохмальні зерна розміром 40 мкм містяться в Кс-236/14 з частотою 5,2%, у Кс-243/14 – 3,1, у Кс-270/14 – 1%. З огляду на ці дані та дані стосовно інших зразків, які не наведено в таблиці 2, спостерігається чітка залежність середнього розміру гранул від наявності та кількості особливо великих (понад 35 мкм) крохмальних зерен.

Таблиця 2

Частотний розподіл гранул крохмалю за розмірами, % гранул у категорії

Межі категорії, мкм	Зразки		
	Кс-270/14	Кс-243/14	Кс-236/14
5 < x ≤ 10	0,0	1,0	0,0
10 < x ≤ 15	7,3	9,4	9,4
15 < x ≤ 20	22,9	19,8	16,7
20 < x ≤ 25	29,2	28,1	19,8
25 < x ≤ 30	25,0	16,7	16,7
30 < x ≤ 35	10,4	14,6	18,8
35 < x ≤ 40	4,2	5,2	11,5
40 < x ≤ 45	1,0	3,1	5,2
45 < x ≤ 50	0,0	2,1	2,1
Середнє, мкм	23,75	24,39	26,66

Крива нормального розподілу та гістограма лінії Кс-270/14 з найменшим середнім розміром крохмальних зерен свідчить про

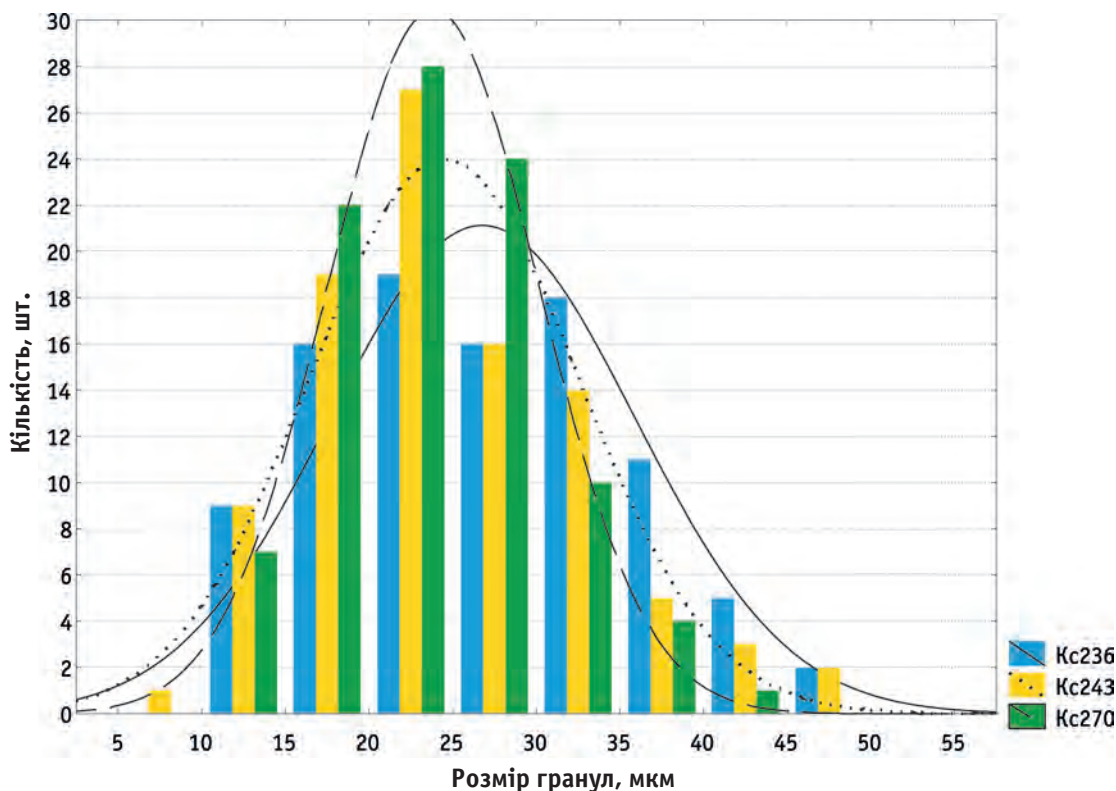


Рис. 2. Об'єднана гістограма частотного розподілу гранул крохмалю за розмірами

найбільшу частоту трапляння розміру гранул у межах 15–30 мкм, тоді як у лінії Кс-236-14 розмір значної частини гранул становив 30–35 мкм (рис. 2). Таким чином, лінія Кс-270/14, яка має мінімальний середній розмір гранул крохмалю серед досліджуваних зразків, мала також незначну дисперсію, невелику кількість гранул понад 35 мкм (5,2%) та компактну гістограму з найбільшою частотою гранул розміром 20–25 мкм.

Отже, найменший середній розмір крохмальних зерен спостерігався у зразків з найменшим максимальним розміром гранул та, відповідно, мінімальною дисперсією. Найбільший середній розмір гранул виявлено у зразків зі значною кількістю крохмальних зерен, розмір яких перевищує 35 мкм.

Висновки

Внаслідок проведеного дослідження встановлено значний поліморфізм тритикале озимого за розміром гранул крохмалю, що може бути використано в селекції тритикале для виробництва біоетанолу. Виявлено, що найменший середній розмір крохмальних зерен спостерігався у зразків з найменшим максимальним розміром гранул, низькою частотою гранул з розмірами понад 35 мкм та, відповідно, мінімальною дисперсією. Це дає підставу зробити припущення про можливість оцінювання зразка за розміром гранул у разі наявності гранул розміром понад 35 мкм, що значно зменшить кількість вимірювань та прискорить аналіз.

Використана література

1. Рибалка О. І. Якість пшениці та її поліпшення / О. І. Рибалка. – К. : Логос, 2011. – 496 с.
2. Червоніс М. В. Селекційні критерії сортів та гібридів зернових культур для виробництва біоетанолу / М. В. Червоніс, І. О. Сурженко // 36. наук. праць СГІ-НЦНС. – Одеса : СГІ-НЦНС, 2009. – Вип. 14. – С. 27–36.
3. Генетичні та селекційні критерії створення сортів зернових культур спирто-дистильного напрямку технологічного використання зерна / О. І. Рибалка, М. В. Червоніс, Б. В. Моргун [та ін.] // Физиология и биохимия культ. растений. – 2013. – Т. 45, № 1. – С. 3–19.

УДК 633.11:631.527:631.524.022

Стариченко В. Н.*, **Корягин А. М.**, **Шляхтуров Д. С.** Сравнительный анализ гранулометрического состава крахмала образцов тритикале озимого // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. – 2016. – № 3. – С. 58–62. [http://dx.doi.org/10.21498/2518-1017.3\(32\).2016.75981](http://dx.doi.org/10.21498/2518-1017.3(32).2016.75981)

ННЦ «Институт земледелия НААН», ул. Машиностроителей, 2-б, пгт Чабаны, Киево-Святошинский р-н, Киевская обл., 08162, Украина, *e-mail: stvas@ukr.net

Цель. Определить возможность дифференциации образцов тритикале по размеру крахмальных зёрен и выявления образцов с минимальным размером гранул, что имеет значительную позитивную корреляцию с эффективностью трансформации крахмала в этанол. **Методы.** Световая мик-

4. Сирохман И. В. Товарознаводство цукру, меду, кондитерських виробів / І. В. Сирохман, Т. М. Лозова. – 2-ге вид., перероб. та доп. – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 616 с.
5. Жизнь растений : в 6 т. / редкол. : А. Л. Тахтаджян (гл. ред.) [и др.]. – Москва : Просвещение, 1982. – Т. 6 : Цветковые растения / А. Л. Тахтаджян, З. Т. Артюшенко, И. А. Грудзинская [и др.] ; под. ред. А. Л. Тахтаджяна. – 543 с.
6. Генетичний аналіз основних ознак якості гранулярного крохмалю у зубовидної та восковиної кукурудзи / С. М. Тимчук, М. М. Мартинюк, В. В. Поздняков [та ін.] // Селекція і насінництво : міжвід. темат. наук. зб. – Х. : [б. в.], 2012. – Вип. 101. – С. 198–206.
7. Селекция тритикале для бродильного производства: итоги и проблемы / А. И. Грабовец, М. Б. Оверченко, Н. И. Игнатова, Г. Н. Хричкова // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2015. – № 2. – С. 63–68.
8. Проблемы селекции тритикале с высоким содержанием крахмала в зерне и его использование / А. И. Грабовец, Н. Р. Андреев, А. В. Крохмаль, Н. А. Шевченко // Доклады РАСХН. – 2013. – № 5. – С. 14–16.

References

1. Rybalka, O. I. (2011). *Yakist pshenytsi ta yii polipshennia* [Wheat quality and its improvement]. Kyiv: Lohos. [in Ukrainian]
2. Chervonis, M. V., & Surzhenko, I. O. (2009). Breeding criteria of grain crop varieties and hybrids for bioethanol production. *Zbirnyk naukovykh prats SHI-NTsNS* [Collected scientific articles of PBGI-NCSCI], 14, 27–36. [in Ukrainian]
3. Rybalka, O. I., Chervonis, M. V., Morgun, B. V., Pochinok, V. M., & Polischuk, S. S. (2013). Genetic and breeding criteria of grain crop cultivars creation for ethanol distilling end-use. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rastenyi* [Physiology and biochemistry of cultivated plants], 45(1), 3–19. [in Ukrainian]
4. Syrokhman, I. V., & Lozova, T. M. (2008). *Tovarovnavstvo tsukru, medu, kondyterskykh vyrobiv* [Merchandising of sugar, honey, confectionery]. (2nd ed. rev.). Kyiv: Tsentр uchbovoi literatury. [in Ukrainian]
5. Takhtadzhyan, A. L. (Ed). (1982). *Zhizn rastenyi. T. 6: Tsvetkovye rasteniya* [Life of Plants. Vol. 6: Flowering plants]. Moscow: Prosvshchenie. [in Russian]
6. Tymchuk, S. M., Martyniuk, M. M., Pozdnyakov, V. V., Tymchuk, V. M., Antsiferova, O. V., Kharchenko, Yu. V., & Kharchenko, L. Ya. (2012). Genetic analysis of the main features of granular starch in dent and waxy corn. *Seleksia I Nasinnitstvo* [Plant Breeding and Seed Production], 101, 198–206. [in Ukrainian]
7. Grabovets, A. I., Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., & Hrichikova, G. N. (2015). Triticale breeding for fermentation production: results and problems. *Zernobobovye i krupanye kul'tury* [Leguminous and groat crops], 2(14), 63–68. [in Russian]
8. Grabovets, A. I., Andreev, N. R., Krokhmal, A. V., & Shevchenko, N. A. (2013). Problems of breeding triticale with a high grain starch content and its use. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of agricultural sciences], 5, 14–16. [in Russian]

роскопия размолотых зерен тритикале. **Результаты.** Проведен анализ образцов тритикале по размеру гранул крахмала. Средний размер гранул был минимальным у линии Кс-270/14 (23,78 мкм), максимальным – у линии Кр-110/14 (28,06 мкм). Размер гранул крахмала у сорта пшеницы ози-

мой мягкой 'Цвит Калыны' составлял 24,2 мкм, что было в границах значений, типичных для сортов и линий тритикале озимого. У преобладающего большинства гранул размер варьировал от 15 до 35 мкм, но распределение их по размеру было неравномерным у исследуемых линий. **Выводы.** Установлен значительный полиморфизм тритикале озимого по размеру гранул крахмала. Выявлено, что наименьший средний размер крахмальных зерен наблюдался у образцов с

наименьшим максимальным размером гранул, низкой частотой гранул с размерами более 35 мкм и, соответственно, минимальной дисперсией. На основании этого можно сделать допущение о возможности оценивания образца по наличию гранул размером более 35 мкм, что значительно уменьшит количество измерений и ускорит анализ.

Ключевые слова: тритикале, крахмал, гранулометрический состав.

UDC 633.11:631.527:631.524.022

Starychenko, V. M.*, Koriahin, A. M., & Shliahturov, D. S. (2016). Comparative analysis of starch grain size distribution in winter triticale samples *Sortovivčennâ ohor. prav sorti roslin* [Plant Varieties Studying and Protection], 3, 58–62. [http://dx.doi.org/10.21498/2518-1017.3\(32\).2016.75981](http://dx.doi.org/10.21498/2518-1017.3(32).2016.75981)

*NSC "Institute of Agriculture NAAS", 2-b, Mashynobudivnykiv st., village Chabany, Kyiv-Sviatoshynskyi district, Kyiv region, 08162, Ukraine, *e-mail: stvas@ukr.net*

Purpose. Determination of the possibility to differentiate triticale samples by starch grain size and identify samples with a minimum size of granules that have a significant positive correlation with the efficiency of the starch transformation into ethanol. **Methods.** Light microscopy of grinded triticale grains. **Results.** Analysis of the starch granule size in triticale samples was performed. The minimum average granule size was observed in line Kc-270/14 (23.78 μm), maximum one – in line KR-110/14 (28.06 μm). The size of starch granules in a soft winter wheat variety 'Tsvit Kalyny' was 24.2 μm that was within the values typical for winter triticale varieties and lines. The size of the majority of granules ranged from 15 to

35 μm, but their distribution was uneven in the studied lines. **Conclusions.** Considerable polymorphism of winter triticale for the starch granule size was established. It was found that the minimum average size of starch granules was observed in the samples characterized by minimum maximum size of granules, low frequency of granules of more than 35 μm, and therefore, minimum dispersion. Based on this, assumption can be made about the possibility to evaluate a sample for the presence of granules larger than 35 μm that can significantly reduce the number of measurements and speed up analysis.

Keywords: triticale, starch, grain size distribution.

Надійшла 6.05.2016