

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-33-39>
УДК 635.21:631.526.32:576.35

Д.И. Волков, О.А. Собко,
П.В. Фисенко, Н.В. Мацшина,
А.А. Гисюк, И.В. Ким, М.В. Ермак

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» 692539, Россия, Приморский край, г. Уссурийск, пос. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30б

*Автор для переписки: volkov_dima@inbox.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: получены результаты при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования в рамках проекта «Реализация направлений, соответствующих программам создания и развития картофелеводства и семеноводства» Центра при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А.К. Чайки».

Вклад авторов: Все авторы участвовали в планировании и постановке эксперимента, а также в анализе экспериментальных данных и написании статьи.

Для цитирования: Волков Д.И., Собко О.А., Фисенко П.В., Мацшина Н.В., Гисюк А.А., Ким И.В., Ермак М.В. Использование клеточного счетчика для анализа морфологических характеристик и количественной оценки крахмальных гранул различных сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.). *Овощи России*. 2022;(4):33-39. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-33-39>

Поступила в редакцию: 30.04.2022
Принята к печати: 29.06.2022
Опубликована: 20.07.2022

Dmitriy I. Volkov, Olga A. Sobko,
Petr V. Fisenko, Nathalia V. Matsishina,
Aleksandr A. Gisyuk, Irina V. Kim,
Marina V. Ermak

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki"
30 B, Volozhenina str., Timiryazevsky stl.,
Ussuriysk, Primorsky kraj, 692539, Russia

*Corresponding author: volkov_dima@inbox.ru

Conflict of Interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contributions: all authors participated in the planning and setting of the experiment, as well as in the analysis of experimental data and the writing of the article.

Acknowledgements: The results were obtained with the financial support of the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education within the project "Implementation of directions corresponding to the program of establishment and development of the Potato Breeding and Seed Production varieties at the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki".

For citations: Volkov D.I., Sobko O.A., Fisenko P.V., Matsishina N.V., Gisyuk A.A., Kim I.V., Ermak M.V. The automated cell counter for the analysis of morphological characteristics and the quantitative estimation of starch granules in different potato varieties. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(4):33-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-4-33-39>

Received: 15.06.2022
Accepted for publication: 30.06.2022
Published: 20.07.2022

Использование клеточного счетчика для анализа морфологических характеристик и количественной оценки крахмальных гранул различных сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.)



Резюме

Актуальность. Картофельный крахмал широко используют в пищевой и текстильной промышленности, парфюмерии, фармацевтике. Содержание крахмала и величина крахмальных гранул в картофеле (*Solanum tuberosum* L.) является сортовым признаком. Изучение морфологических свойств крахмала важно как для селекции новых сортов технического назначения, так и для перерабатывающей промышленности. Основной целью данной работы – дать сравнительную характеристику морфологической структуры нативного картофельного крахмала методом клеточного счетчика Countess II FL automated cellcounter.

Материалы и методы. Исследования выполнены в 2020-2021 гг. на экспериментальной базе ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (Приморский край). Объектом исследований являлись 11 сортообразцов различного срока созревания. Морфологическую структуру крахмальных гранул оценивали методом анализа изображений на клеточном счетчике Countess II FL automated cell counter.

Результаты. Изученные сорта, независимо от срока созревания и генетического происхождения, имели преимущественно гранулы округлой и овальной формы. Были отмечены различия в размере крахмальных гранул в зависимости от величины клубня и группы спелости. Сорта раннего срока созревания имели преимущественно размер гранул менее 20 мкм независимо от фракции клубней, исключение составляет сорт Queen Anne, в мелких клубнях данного сорта гранулы крахмала размером более 20 мкм составляет 67,86%. Было отмечено, что доля средних и крупных зерен возрастала в сортах с более продолжительным периодом вегетации, так сорт Августин среднеспелого срока созревания имел долю средних и крупных зерен в крупном и мелком клубне 47,72 и 41,48% соответственно. Максимальное количество гранул размером более 20 мкм отмечено у среднепоздних сортов Казачок (63,77%) и Смак (92,22%).

Заключение. Метод с использованием клеточного счетчика и последующей обработкой микрофотографий гранул крахмала представляет собой доступный, экономичный, простой и эффективный подход к фенотипированию сортов и гибридов картофеля *Solanum tuberosum* L. по физико-химическим параметрам крахмала. Данный метод может применяться для ускоренного анализа большого числа образцов на ограниченном количестве природного материала, в том числе в полевых и хозяйственных лабораториях.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., картофель, сорт, крахмал, морфология, гранула, клеточный счетчик

The automated cell counter for the analysis of morphological characteristics and the quantitative estimation of starch granules in different potato varieties

Abstract

Relevance. Potato starch is widely used in the food, textile, perfume and pharmaceutical industries. The starch content and the size of starch granules in potato tubers are varietal characteristics (*Solanum tuberosum* L.). The knowledge of morphological properties of starch plays a key role in the technologies for the production of consumer and industrial goods.

Materials and methods. The studies were carried out in 2020-2021 at the experimental base of Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agricultural Bio-technology of the Far East named after A.K. Chaiki" (Primorsky Krai). The object of the research were 11 varieties of different maturity dates. Morphological structure of starch granules was evaluated by image analysis on Countess II FL automated cell counter.

Results. The varieties studied had predominantly rounded and oval pellets regardless of maturity and genetic origin. Differences in starch granule size depending on tuber size and ripeness group were noted. Early maturing varieties had granule size less than 20 microns regardless of tuber fraction. The exception is the variety Queen Anne, in small tubers of this variety starch granules larger than 20 microns is 67.86%. It was noted that the proportion of medium and large grains increased in varieties with a longer growing season. For example, the variety Augustin medium-ripening had a proportion of medium and large grains in the large and small tuber of 47.72 and 41.48%, respectively. The maximum number of grains larger than 20 microns was observed in the mid-late varieties Kazachok (63.77%) and Smak (92.22%).

Conclusion. The method using a cell counter and subsequent processing of microphotographs of starch granules is an accessible, economical, simple and effective approach to phenotyping potato varieties and hybrids of *Solanum tuberosum* L. by physical and chemical parameters of starch. This method can be used for accelerated analysis of a large number of samples on a limited amount of natural material, including in field and farm laboratories.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., potato, variety, starch, morphology, granule, cell counter

Введение

Крахмал – биологически важный полимер глюкозы, который синтезируется фотосинтезирующими организмами [1-3]. Крахмал содержит амилозу и амилопектин. Амилопектин является основным компонентом крахмала, составляя 65-85% от общей массы, это большие молекулы, содержащие густо разветвленные цепи глюкозы. Молекулы амилозы небольшие по размеру и представляют собой линейные цепи глюкозы. Крахмал нерастворим в воде и осмотически неактивен, что делает его подходящей формой углеводов для длительного хранения у семян и клубней многих видов растений. Полисахарид образуется в мембраносвязанных аминокластах, которые называются крахмальными гранулами или крахмальными зёрнами. Каждый аминокласт обычно образует одну крахмальную гранулу, состоящую из концентрических, кристаллических и аморфных слоев [4-7]. Хотя крахмал имеет простой полимерный состав глюкозы, крахмальные зёрна демонстрируют различную морфологию в зависимости от вида [7-13]. Их классифицируют как сложные и простые [14, 15]. Разница заключается в том, что сложные гранулы собираются из нескольких десятков маленьких гранул крахмала, в то время как простые зёрна представляют собой одиночную частицу из одной гранулы крахмала. Так, например, в эндосперме риса (*Oryza sativa*) развиваются сложные крахмальные зёрна, диаметр которых обычно составляет 10-20 м. Каждая крахмальная гранула, входящая в состав сложного зерна, представляет собой остроугольный многогранник с типичным диаметром 3-8 м. Крахмальные гранулы собраны в виде сложного зерна, но они не сливаются и легко разделяются с помощью обычных процедур очистки. Простые зёрна наблюдаются в нескольких важных культурах, таких как кукуруза (*Zea mays*), сорго (*Sorghum bicolor*), ячмень (*Hordeum vulgare*) и пшеница (*Triticum aestivum*) [16]. Простые крахмальные зёрна далее классифицируются на два подтипа, называемые бимодальными и однородными. Бимодальный тип содержит маленькие и большие простые гранулы, которые сосуществуют в одних и тех же клетках. Однородный тип содержит сходные по размеру шестиугольные, пятиугольные или круглые простые гранулы. Сложные и простые гранулы наблюдаются в клубнях. Картофель (*Solanum tuberosum*) и китайский батат (*Dioscorea batatas*) синтезируют простые зёрна, в то время как сложные наблюдаются в сладком картофеле (*Ipomoea batatas*) и эддоке (*Colocasia esculenta*) [17].

Картофельный крахмал широко используется в пищевой промышленности, для технических целей в текстильной, бумажной, полиграфической промышленности и в быту [18]. Использование крахмала во многом определяется его свойствами, связанными с

морфологической структурой. Структура крахмальных зерен зависит от биохимических механизмов накопления крахмала и в первую очередь определяются сортом сырья и его качеством. Размер крахмальных гранул оказывает существенное влияние на качество крахмала. Мелкие гранулы хуже набухают и, соответственно, медленнее желатинизируются, кроме того, они хуже хранятся [19].

В настоящее время приводится много работ по изучению морфологии крахмальных гранул картофеля различными микроскопическими методами, с использованием флуоресцентной, сканирующей электронной, конфокальной лазерной сканирующей микроскопии и др. [20-22]. Измерение гранул крахмала с помощью светового микроскопа является предпочтительным подходом в большинстве лабораторий, поскольку это традиционный метод, позволяющий исследовать как размер, так и форму. Однако, несмотря на несомненную ценность этого метода, процесс анализа зёрен при помощи световой микроскопии по-прежнему остается трудоёмким и отчасти субъективным [23]. На данный момент селекционная и семеноводческая работа переходит на новый технологический уровень. При этом в оценке множества сортов и гибридов картофеля центральную роль играют высокоэффективные поточные методы фенотипирования с низкой себестоимостью, способные дать надежную информацию о полезных признаках растения, используя ограниченное количество материала и доступное для удаленных и полевых локаций оборудование [24]. Современная визуализирующая техника могла бы упростить методические подходы, сократив время, затрачиваемое на исследование.

Автоматический счетчик клеток Countess II FL – это настольная платформа, оснащенная современной оптикой, полной автофокусировкой и программным обеспечением для быстрого анализа клеток в суспензии. Прибор обеспечивает гибкость анализа, исследователь может выполнять подсчет клеток, контролировать экспрессию флуоресцентного белка, оценивать апоптоз и измерять жизнеспособность любым удобным способом: прибор оснащен двумя каналами флуоресценции (два EVOS куба) и оптикой светлого поля [25]. Однако, для изучения морфологии крахмальных гранул он ранее не применялся, но мог бы ускорить процесс исследования.

В связи с этим целью данной работы было сравнительное изучение морфологической структуры нативного картофельного крахмала методом клеточного счетчика Countess II FL automated cellcounter (ThermoFisherScientific, США.).

Материалы и методы

Работа выполнена в 2020-2021 гг. в ФГБНУ «ФНЦ

агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки». Полевые исследования проводили на экспериментальной площадке отдела картофелеводства и овощеводства с. Пуциловка. Все изучаемые сорта картофеля выращивались в одинаковых условиях. Лабораторные опыты по изучению микроструктуры крахмальных гранул выполнены на базе лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур. В ходе полевого эксперимента были изучены сорта картофеля: мировой коллекции ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов

растений им. Н.И. Вавилова–ВИР, г. Санкт-Петербург; коллекции ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха, Московская обл.; сорта, полученные в ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. По группам спелости и содержанию крахмала (в пределах 9,34-17,2%) в клубнях была сформирована выборка из 11 сортов: Августин, Дачный, Казачок, Смак, Юбиляр (Россия), Belmonda, Labella, Laperla, Lilly, Queen Anne, Red Lady (Германия).

Метод клеточного счетчика. Для извлечения крахмала использовали ткани мякоти клубней. Клубни раз-

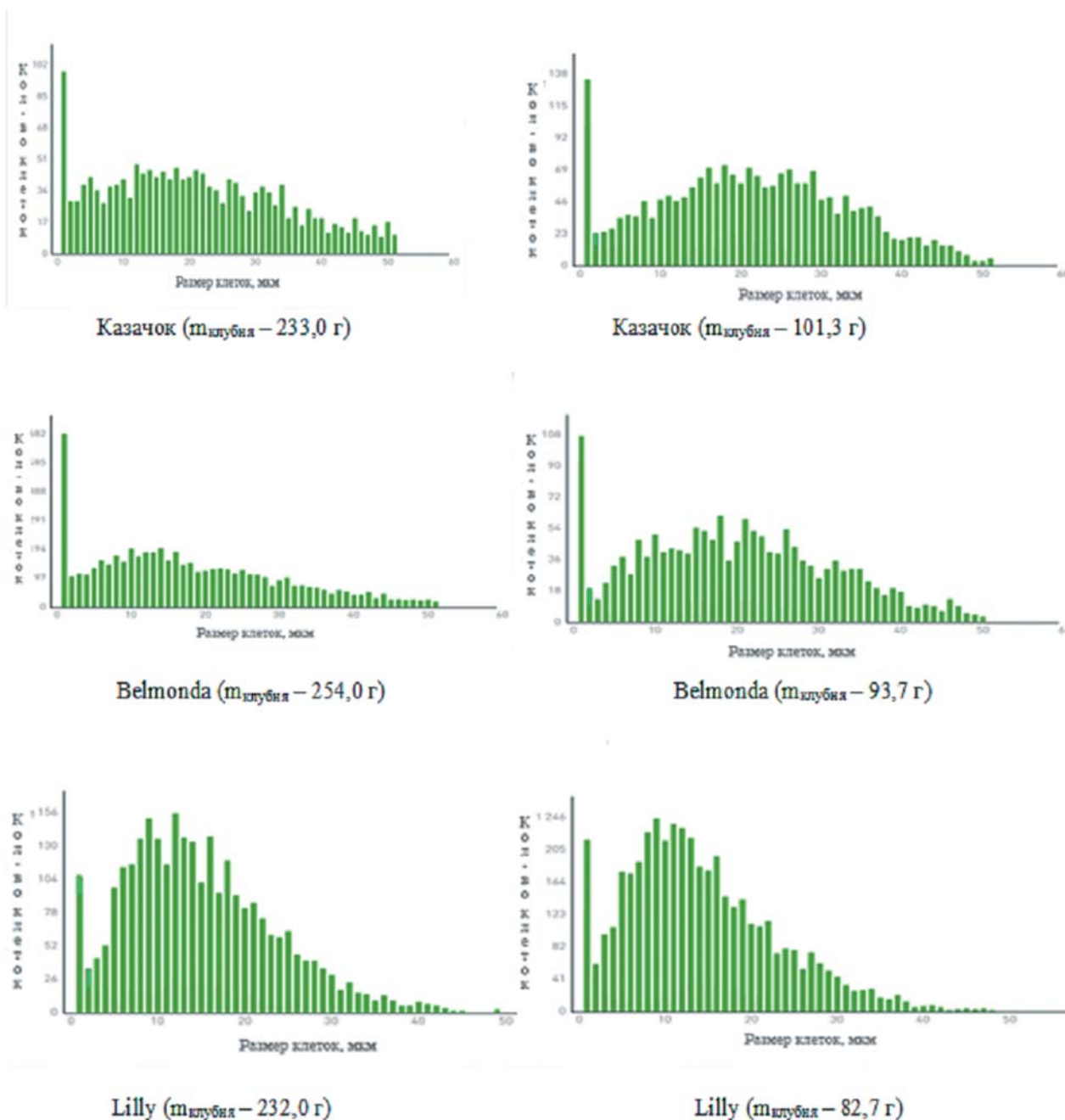


Рис. 1. Количественный состав суспензии крахмальных гранул сортов картофеля в электрочувствительной зоне апертуры счетного элемента клеточного счетчика (n=3, коллекционный питомник ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 2021 год). Диапазон измерений размера клеток, мкм – 5–60; диапазон концентрации, клеток/мл – 1×10^4 – 1×10^7 ; время обработки, сек – 10; оптическое увеличение 2,5x

Fig. 1. Quantitative composition of starch granule suspension of potato varieties in the electrosensitive aperture zone of cell counter element (n=3, collection nursery of A.K. Chaika Federal Research Center for Agrobiotechnology of the Far East, 2021). Cell size measurement range, μm - 5-60; concentration range, cells/ml – 1×10^4 – 1×10^7 ; processing time, sec – 10; optical magnification, 2.5x

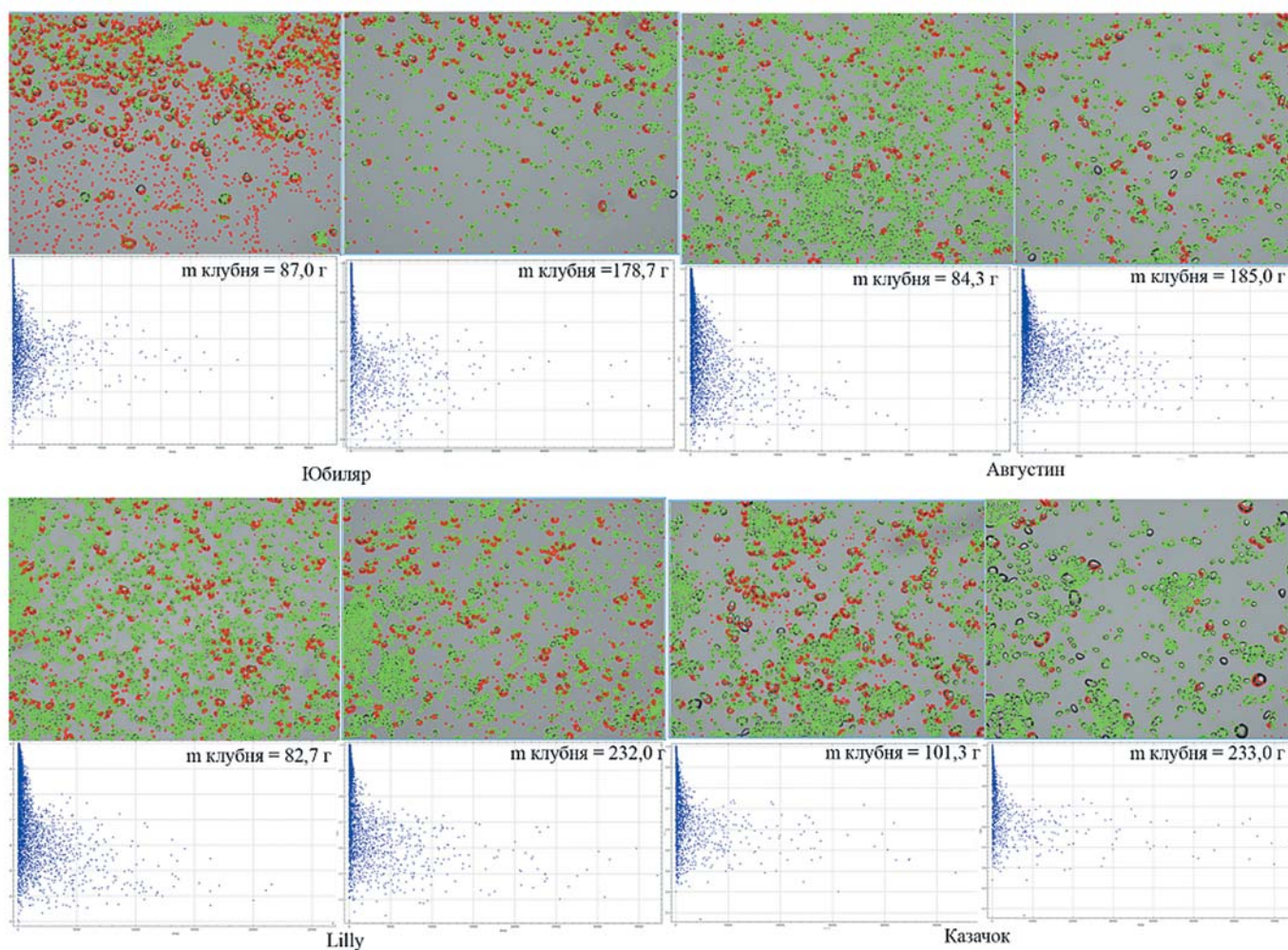


Рис. 2. Распределение крахмала в сортах картофеля. (n=3, коллекционный питомник ФНЦ агrobiотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, 2021 год). Диапазон измерений размера клеток, мкм – 5–60; диапазон концентрации, клеток/мл – 1×10^4 – 1×10^7 ; время обработки, сек – 10; оптическое увеличение 2,5x клеток Countess II FL AutomatedCellCounter (ThermoFisherScientific, США)

Fig. 2. Starch distribution in potato varieties. (n=3, collection nursery of A.K. Chaika Federal Research Center for Agrobiotechnology of the Far East, 2021). Measurement range of cell size, μm - 5-60; concentration range, cells/ml – 1×10^4 – 1×10^7 ; processing time, sec – 10; optical magnification, 2.5x (sample cell counter internal reports of Countess II FL AutomatedCellCounter (ThermoFisherScientific, USA))

ных фракций (крупная и мелкая) мыли, взвешивали (вес клубней каждой фракции фиксировался и вычислялся средний), очищали от кожуры, измельчали на универсальном измельчителе MMR 08A1 (Bosch, Германия). Из полученной массы вымывали крахмал десятикратным количеством дистиллированной воды с последующим отстаиванием и фильтрацией через бумажный фильтр при пониженном давлении. Полученный осадок высушивали, взвешивали, отбирали навеску в 2,5 грамма и разводили в 500 мл дистиллированной воды [18]. 10 мкл полученной суспензии помещали пипет-дозатором на слайд многократного применения счетчика клеток Countess II FL AutomatedCellCounter (ThermoFisherScientific, США) и проводили измерение размеров и количества полученных форменных элементов. Диапазон измерений размера клеток, мкм – 5–60; диапазон концентрации, клеток/мл – 1×10^4 – 1×10^7 ; время обработки, сек – 10;

оптическое увеличение, \times – 2,5; применение световых кубов EVOS.

Обработку микрофотографий гранул крахмала, а также минимальную статистическую обработку полученных данных проводили в программе ImageJ по В.К. Хлесткину [24]. Для проверки достоверности полученных результатов использовали статистические программы MSEXcel 2007 и Statistica 10 («StatSoft, Inc.», США), рассчитывали средние (M) и $t_{0,05} \frac{1}{2} \text{SEM}$. Полученные данные были проанализированы с помощью t-распределения Стьюдента и уточнены с помощью поправки Дункана [26] для проверки значимости различий между средними значениями.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований на клеточном счетчике, изученные нами сорта отличались по размеру крахмальных гранул в зависимости от

Таблица. Морфологическая характеристика крахмальных гранул, полученных из разных сортов картофеля
 Table. Morphological characteristics of starch granules obtained from different potato varieties

Сорт картофеля	Группа спелости	Масса клубня, г	Концентрация крахмала	Средний размер, мкм	Распределение гранул по размеру (%)		
					до 20 мкм	от 20 до 50 мкм	более 50 мкм
Юбиляр	Р	178,7	0,88×107/мл	17,88 ±0.04a	68,53±0.03e	30,93	0,54±0.01b
		87,0	1,80×107/мл	12,28±0.02c	72,61±0.02b	27,13	0,26±0.01f
Laperla	Р	214,5	1,31×107/мл	18,18±0.03e	61,11±0.01b	38,13	0,76±0.01h
		75,3	0,71×107/мл	15,95±0.01d	53,1±0.01b	46,90	-
Red Lady	Р	217,0	1,70×107/мл	16,23±0.03b	60,28±0.02b	39,44	0,28±0.02g
		79,5	1,24×107/мл	15,06±0.01c	58,75±0.02b	41,25	-
Queen Anne	Р	236,7	1,39×107/мл	17,33±0.02e	68,00±0.02b	31,50	0,50±0.02e
		81,5	1,19×107/мл	21,04±0.02e	32,14±0.01b	67,60	0,26±0.01c
Labella	Р	142,3	4,19×107/мл	13,45±0.03c	80,72±0.02ab	18,58	0,70±0.01h
		89,0	1,12×107/мл	16,52±0.01b	66,06±0.02a	33,52	0,42±0.02f
Belmonda	СР	254,0	3,28×107/мл	18,31±0.03cd	64,67±0.02ab	34,96	0,37±0.02b
		93,7	1,14×107/мл	20,51±0.03d	56,69±0.01ab	43,00	0,31±0.02b
Lilly	СР	232,0	1,95×107/мл	14,23±0.04c	73,7,00±0.01a	26,00	0,30±0.02b
		82,7	2,94×107/мл	13,73±0.03e	77,27±0.02a	22,73	-
Дачный	СРП	185,0	1,17×107/мл	16,52±0.03e	69,50±0.02a	30,40	0,10±0.01b
		84,3	0,19×107/мл	10,74±0.04b	77,81±0.01a	22,19	-
Августин	СРП	207,3	1,08×107/мл	17,71±0.04c	52,27±0.02a	47,18	0,55±0.02f
		69,3	2,04×107/мл	17,21±0.03e	58,52±0.01a	41,25	0,23±0.01b
Смак	СП	211,0	2,03×107/мл	19,96±0.03c	7,78±0.02a	91,36	0,86±0.01g
		67,5	1,10×107/мл	19,97±0.02cd	47,99±0.01a	49,93	0,63±0.01c
Казачок	СП	233,0	0,99×107/мл	21,75±0.01e	48,11±0.01c	50,24	1,77±0.01c
		101,3	1,55×107/мл	20,41±0.01cd	36,23±0.02f	63,28	0,49±0.02f
Статистическая обработка	Критерий Шапиро – Уилка W	0,8336	0,8664	0,9718	0,9	0,8974	0,8297
	Критерий Харке-Бера JB	2,803	9,286	0,7407	8,986	9,376	28,72
	p-уровень значимости	0,2462	0,009626	0,6905	0,01118	0,009204	5,787E-07

Примечание: 1) Значения в одном столбце, сопровождаемые одной и той же буквой, статистически не различаются на уровне вероятности 0,05 с помощью ANOVA, с применением теста Дункана; 2) Р – ранний, СР – среднеранний, СРП – среднеспелый, СП – среднепоздний.

величины клубня и группы спелости (рисунок 1). Масса мелких клубней варьировала от 67,5 г до 101,3 г, масса крупных клубней составляла от 159,0 г до 258,5 г. Отмечено, что крупные и мелкие клубни сортов раннего, среднего и позднего срока созревания отличались по количеству и размеру крахмальных гранул. В ходе эксперимента было установлено, что нет четкой зависимости между долей мелких/средних крахмальных зерен и фракцией клубней картофеля. В тоже время, независимо от срока созревания, крупные клубни изучаемых сортообразцов имели большее количество гранул диаметром более 50 мкм, в сравнении с клубнями меньшей массы того же сорта. Наибольшее количество зерен, имеющих размер более 50 мкм, отмечено в крупных клубнях сорта

симо от срока созревания и генетического происхождения, имели преимущественно гранулы округлой и овальной формы (табл.).

Следует отметить, что применение метода подразумевает игнорирование так называемых «живых» (live) и «мертвых» (dead) клеток, по которым клеточный счетчик автоматически дифференцирует популяцию. В процессе исследования следует учитывать только общую концентрацию клеток в суспензии (total) (рис.3). В целом, метод клеточного счетчика является достаточно точным, удобным в сравнении с уже известными методами визуализации крахмальных зерен.

Countess II Live/Dead Report

File name: kazachok big_R.pdf

Date: 09.10.2020 09:23:39 AM

Results:

	Concentration	
Total		9.93 x 10 ⁶ /mL
Live	95%	9.48 x 10 ⁶ /mL
Dead	5%	4.52 x 10 ⁵ /mL

**Рис. 3. Учет общей концентрации клеток в суспензии (рабочее поле счетчика клеток Countess II FL AutomatedCellCounter (ThermoFisherScientific, США)
Fig. 3. Accounting for the total concentration of cells in suspension (working field of the Countess II FL AutomatedCellCounter cell counter (ThermoFisherScientific, USA))**

Казачок – 1,77%. Было посчитано общее количество гранул в суспензии каждого сорта, оно варьировало от 1253 до 5621 штук.

В картофельном клубне крахмал находится в виде зерен овальной, многогранной и округлой формы с правильными и неправильными контурами различной величины, которая колеблется в пределах 1–110 мкм, чаще же составляет 20–30 мкм в диаметре [27, 28] (рис.2).

В ходе исследований установлено, что сорта раннего срока созревания имели преимущественно размер гранул менее 20 мкм не зависимо от фракции клубней, исключение составляет сорт Queen Anne, в мелких клубнях данного сорта гранулы крахмала размером более 20 мкм составляет 67,86%. Было отмечено, что доля средних и крупных зерен возрастала в сортах с более продолжительным периодом вегетации, так сорт Августин среднеспелого срока созревания имел долю средних и крупных зерен в крупном и мелком клубне 47,72 и 41,48 % соответственно. Максимальное количество гранул размером более 20 мкм отмечено у среднепоздних сортов Казачок (63,77%) и Смак (92,22%). Изученные сорта, незави-

Заключение

В результате изучения микроструктуры нативного крахмала установлены значительные различия в распределении гранул по размерам. Было отмечено увеличение доли средних и крупных крахмальных гранул в сортах среднего и среднепозднего срока созревания. Наибольшее количество гранул размером более 20 мкм отмечено у среднепоздних сортов Казачок (63,77%) и Смак (92,22%). Максимальная доля гранул более 50 мкм установлена в крупных клубнях сорта Казачок (1,77%).

Метод с использованием клеточного счетчика и последующей обработкой микрофотографий гранул крахмала представляет собой доступный, экономичный, простой и эффективный подход к фенотипированию сортов и гибридов картофеля *Solanum tuberosum* L. по физико-химическим параметрам крахмала. Данный метод может применяться для ускоренного анализа большого числа образцов на ограниченном количестве природного материала, в том числе в полевых и хозяйственных лабораториях.

Об авторах:

Дмитрий Игоревич Волков – аспирант, зав. отделом картофелеводства и овощеводства, автор для переписки, volkov_dima@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9364-9225>

Ольга Абдуллиевна Собко – аспирант, н.с. лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, o.eyvazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>,

Петр Викторович Фисенко – кандидат биол. наук, в.н.с. и.о. зав. лабораторией селекционно-генетических исследований полевых культур, phisenko@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1727-4641>

Наталья Валериевна Мацишина – кандидат биол. наук, ст.н.с. лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, mnathalie134@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>

Александр Александрович Гисюк – м.н.с. отдела картофелеводства и овощеводства.

Ирина Вячеславовна Ким – кандидат с.-х. наук, в.н.с. отдела картофелеводства и овощеводства, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

Марина Владимировна Ермак – м.н.с. лаборатории селекционно-генетических исследований полевых культур, ermackmarine@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-37278634>

About the authors:

Dmitry I. Volkov – PhD student, Head of Potato and Vegetable Growing Department. Correspondence Author, volkov_dima@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9364-9225>

Olga A. Sobko – PhD student, Researcher of the Laboratory of Selection and Genetic Research of Field Crops, o.eyvazova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4383-3390>,

Petr V. Fisenko – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Acting Head of laboratory of selection and genetic research of field crops, phisenko@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1727-4641>

Nathalia V. Matsishina – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher laboratory of selection and genetic research of field crops, mnathalie134@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0165-1716>

Aleksandr A. Gisyuk – Junior Researcher of the Department of Potato and Vegetable Growing

Irina V. Kim – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Department of Potato and Vegetable Growing, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>

Marina V. Ermak – Junior Researcher of laboratory of selection and genetic research of field crops, ermackmarine@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-37278634>

• Литература / References

- Buléon A., Colonna P., Planchot V., Ball S. Starch granules: structure and biosynthesis. *Int. J. Biol. Macromol.* 1998;23(2):85-112. DOI: 10.1016/s0141-8130(98)00040-3
- Hancock R.D., Tarbet B.J. The other double helix – the fascinating chemistry of starch. *J. Chem. Educ.* 2000;77:988-992. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ed077p988>.
- Nakamura Y. Towards a better understanding of the metabolic system for amylopectin biosynthesis in plants: rice endosperm as a model tissue. *Plant Cell Physiol.* 2002;43:718-725. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcf091>.
- James M.G., Denyer K., Myers A.M. Starch synthesis in the cereal endosperm. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2003;6:215-222. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00042-6).
- Sakamoto W., Miyagishima S.Y., Jarvis P. Chloroplast biogenesis: control of plastid development, protein import, division and inheritance. *Arab. Book.* 2008;6:e0110. DOI: 10.1199/tab.0110.
- Fajardo D., Haynes K.G., Jansky S. Starch Characteristics of Modern and Heirloom Potato Cultivars. *Am. J. Potato Res.* 2013; 90: 460–469. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9320-5>.
- Matsushima R., Maekawa M., Fujita N., Sakamoto W. A rapid, direct observation method to isolate mutants with defects in starch grain morphology in rice. *Plant Cell Physiol.* 2010;51:728-741. DOI: 10.1093/pcp/pcf040.
- Harz C.O. Beiträge zur systematik der Gramineen. *Linnaea.* 1880;43(9):1-30.
- Tateoka T. On the systematic significance of starch grains of seeds in Poaceae. *J. Jap. Bot.* 1954;29:341-347.
- Tateoka T. Further studies on starch grains of seeds in Poaceae from the view point of systematic. *J. Jap. Bot.* 1955;30:199-208.
- Czaja A.T. Structure of starch grains and the classification of vascular plant families. *Taxon.* 1978; 7(5-6):463-470. DOI: <https://doi.org/10.2307/1219895>.
- Jane J.-L., Kasemsuwan T., Leas S. et al. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. *Starch-Starke.* 1994;46(4):121-129. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.19940460402>.
- Shapter F.M., Henry R.J., Lee L.S. Endosperm and starch granule morphology in wild cereal relatives. *Plant Genet. Res.* 2008;6:85-97.
- Tateoka T. Starch grains of endosperm in grass systematic. *Bot. Mag. Tokyo.* 1962;75(892):377-383. DOI: <https://doi.org/10.15281/jplantres1887.75.377>.
- Barker N.P., Clark L.G., Davis J.I. et al. Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). *Ann. Missouri Bot. Garden.* 2001;88(3):373-457. DOI: <https://doi.org/10.2307/3298585>.
- Cabáková J., Přebyl J., Skládal P., Kulich P., Chmelík J. Size, shape and surface morphology of starch granules from Norway spruce needles revealed by transmission electron microscopy and atomic force microscopy: effects of elevated CO₂ concentration. *Tree Physiology.* 2008;28(10):1593-1599. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/28.10.1593>.
- Psota V., Bohačenko I., Hartmann J., Budinská M., Chmelík J. Comparison of the GFFF and LALLS methods for the measurement of starch granule size distribution in spring barley caryopses. *J. Inst. Brew.* 2002;108(2):200-203. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00541.x>.
- Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. Food Chemistry. 4th revis. expand. ed. Leipzig: Springer-Verlag, 2009. 1070 p.
- Pérez S., Bertoff E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: a comprehensive review. *Starch/Starke.* 2010;62(8):389-420. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/star.201000013>.
- Sjö M.E., Eliasson A.-C., Autio K. Comparison of Different Microscopic Methods for the Study of Starch and Other Components within Potato Cells. *Food.* 2009;3(Special Is. 1):39-44.
- Jagadeesan S., Govindaraju I., Mazumder N. Insight into the Ultrastructural and Physicochemical Characterization of Potato Starch: A Review. *Am. J. Potato Res.* 2020;97:464-476. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09798-w>.
- Литвяк В.В., Заболотец А.А., Симаков Е.А., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Костенко В.Г. Особенности морфологической структуры гранул крахмала различных сортов картофеля. *Достижения науки и техники АПК.* 2019;33(11):55-59. EDN: THPMQH. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11112 [Litvyak V.V., Zabolotets A.A., Simakov E.A., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Kostenko V.G. Features of the morphological structure of starch granules in various potato varieties. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex.* 2019;33(11):55-59. (In Russ.) EDN: THPMQH. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11112]
- Li X.-Q., Zhang, J. Luo S., Liu G., Murphy A., Leclerc Y., Xing T. Effects of sampling methods on starch granule size measurement of potato tubers under a light microscope. *Int. J. Plant Biol.* 2011;2:14-18. DOI: <http://dx.doi.org/10.4081/pb.2011.e5>
- Хлесткин В.К., Эрст Т.В. Практическое руководство по оценке морфологии гранул картофельного крахмала методом микроскопирования. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2017.21.(6):728-734. DOI: 10.18699/VJ17.290 [Khlestkin V.K., Erst T.V. A practical guide to the starch granules' morphology study by microscopy. *Vavilov journal of genetics and breeding.* 2017.21.(6):728-734. (In Russ.) DOI: 10.18699/VJ17.290]
- The new and improved Countess® II FL Automated Cell Counter. <https://www.thermofisher.com/ru/ru/home/references/newsletters-and-journals/bioprobis-journal-of-cell-biology-applications/bioprobis-70/countess-ii-fl-automated-cell-counter.html>
- Moroney M.J. Facts from figures. 3rd ed. Harmondsworth. Middlesex: Penguin Books Ltd., 1956. 472 p.
- Eliasson A.C. Starch in food: structure, function and application. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2004. 590 p.
- Volkov D., Kim I., Klykov A., Matsishina N. Comparative Evaluation of Different Potato Varieties for Their Suitability for Starch Processing. *Lecture Notes in Networks and Systems.* 2022;353:443-45