

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-102-107>
УДК: 635.21:664.22

И. В. Ким*, Д. И. Волков, А. Г. Клыков

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

*Автор для переписки: kimira-80@mail.ru

Вклад авторов: И.В. Ким: концептуализация; курирование данных; написание-рецензирование и редактирование рукописи. Д.И. Волков: разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением; визуализация, проведение исследования; написание — подготовка черновика рукописи. А.Г. Клыков: научное руководство исследованием.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ким И.В., Волков Д.И., Клыков А.Г. Исследование морфологических структур крахмальных гранул в клетке картофеля (*Solanum tuberosum* L.) методом лазерной сканирующей конфокальной микроскопии. *Овощи России*. 2025;(1):102-107. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-102-107>

Поступила в редакцию: 10.10.2024

Принята к печати: 18.12.2024

Опубликована: 28.12.2024

Irina V. Kim*, Dmitry I. Volkov, Aleksei G. Klykov

Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki
30, Volozhenina st., Timiryazevsky stl., Ussuriysk, Primorsky kray, 692539, Russia

*Correspondence Author: kimira-80@mail.ru

Authors' Contribution: I.V. Kim: conceptualization, data curation, writing of the draft of the manuscript; editing of the manuscript. D.I. Volkov: the development of the research methodology, work with the software; visualization, the conducting of the research; the writing-reviewing. A.G. Klykov: supervision.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Kim I.V., Volkov D.I., Klykov A.G. Studying the morphological structures of starch granules in potato cells (*Solanum tuberosum* L.) by the method of confocal laser scanning microscopy. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(1):102-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-102-107>

Received: 10.10.2024

Accepted for publication: 18.12.2024

Published: 28.12.2024

Исследование морфологических структур крахмальных гранул в клетке картофеля (*Solanum tuberosum* L.) методом лазерной сканирующей конфокальной микроскопии

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Картофель является одним из основных источников крахмала. Картофельный крахмал широко используется в хозяйственной деятельности человека. Его содержание в клубнях, в том числе количество крахмальных гранул и их размер и величина, в большей степени сортовой признак. В связи с этим крайне важно на начальных этапах селекции выделить сорта с показателями крахмальных зёрен, пригодных для получения крахмала.

Материал и методы. Цель исследования – изучить морфологическую структуру крахмальных гранул в клетке клубней сортов картофеля различных групп спелости. Объектом исследований служили 18 сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) различного происхождения и групп спелости. Гранулометрический состав определяли методом флуоресцентной микроскопии. Исследования проводили с помощью конфокального лазерного сканирующего микроскопа CLSM 800 (Zeiss, Германия) с длиной волны возбуждающего лазера 488 нм.

Результаты. Получены новые данные о морфологии крахмальных гранул в клетке, имеющих различную форму: округлую, овальную, удлинённую и неправильную. Установлена прямая связь между количеством крупных крахмальных зёрен в клетке и сроком созревания генотипа. Показано, что сорта из среднеспелой и среднепоздней групп созревания более крахмалистые, чем сортообразцы из более ранних групп спелости. В среднем отличие по содержанию крахмала между этими группами составило 1.97 %. Наибольшее количество крахмальных зёрен выявлено в клетке размером 40-70 мкм и более. Выделены генотипы *Solanum tuberosum* L. с крупными и мелкими крахмальными гранулами, которые рекомендуется использовать в практической селекции при создании сортов с высоким качеством.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Solanum tuberosum L., картофель, крахмал, морфология, гранула, клетка

Studying the morphological structures of starch granules in potato cells (*Solanum tuberosum* L.) using the method of confocal laser scanning microscopy

ABSTRACT

Relevance. Potato are one of the main sources of starch. Potato starch is widely used in human economic activities. The starch content in tubers, including the number of starch granules and their size and shape, are varietal characteristics. For this reason, it is important to identify potato varieties with starch grains suitable for starch production already at the early stages of breeding process.

Materials and Methods. The Aim was to study the morphological structure of starch granules in cells of potato tubers belonging to varieties from different maturity groups. Eighteen potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) of various breeding origin and from different maturity groups were used as the research object. The granulometric composition was determined by the method of fluorescent microscopy. The research was conducted using a CLSM 800 confocal laser scanning microscope (Zeiss, Germany) with a laser wavelength of 488 nm.

Results. The research allowed us to obtain data on the morphology of variously-shaped starch granules in cells: round, oval, elongated, and irregular. The research established a direct correlation between the number of large starch grains in a cell and the time required for a given potato genotype to mature. Mid-season and medium late potato varieties were observed to have a higher starch content than varieties from the groups with earlier maturity. On average, the difference in the starch content between these groups was 1.97%. The highest number of starch grains was found in 40-70 μm cells and larger. The research identified *Solanum tuberosum* L. genotypes with large and small starch granules. These genotypes might be recommended for further use in the practical breeding to create high-quality varieties.

KEYWORDS:

Solanum tuberosum L., potato, starch, morphology, granules, cell

Введение

Крахмал – природный полисахарид, который обладает рядом ценных свойств и является одним из основных источников пищи для человека. Ресурсами для его получения служат многие сельскохозяйственные культуры: картофель, кукуруза, рожь, пшеница, маниока, горох, рис [1]. Крахмал накапливается в семенах, корневищах, корнях и клубнях в виде полукристаллических гранул [2].

Картофель является одним из основных источников крахмала. Картофельный крахмал широко используется в хозяйственной деятельности человека [3, 4]. В последние годы внимание отечественных и зарубежных ученых привлекают уникальные свойства крахмала как природного полимера, в плане производства на его основе самых разнообразных продуктов [5-7].

Основными компонентами крахмальных гранул являются два полиглюкана: амилоза и амилопектин [2, 8]. Каждый, из которых представляет собой гомополимер, образованный из одинаковых мономерных звеньев (остатков глюкозы), с общей формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$. Молекулярный состав и строение, а также супрамолекулярная организация этих молекул регулируются генами биосинтеза крахмала через соответствующие белки и, следовательно, могут рассматриваться как фенотипические признаки и объекты селекции. Сочетание определенных вариантов таких генов позволяет запрограммировать растение картофеля на производство крахмала с заданной структурой и свойствами. Селекционное регулирование активности генов, ответственных за фосфорилирование и синтез полимерных цепей крахмала, а также ингибирование амилаз, может быть использовано для получения технических сортов картофеля с повышенным содержанием крахмала [9, 10].

Содержание крахмала в клубне зависит от ферментативных реакций, как синтеза, так и расщепления крахмала. Три основных стадии образования крахмала контролируются ферментами: АДФ-глюкозо-пирофорсфорилазой (AGPase), крахмалсинтазой (SS) и разветвляющим крахмал ферментом (SBE). Причем именно AGPase (кодируется геном *glgc-16*) катализирует реакцию, лимитирующую скорость биосинтеза крахмала [11].

Устойчивая ассоциация локусов с признаками и наличие ДНК-маркеров, тесно сцепленных с этими локусами, позволяет использовать полученные результаты для маркер-ориентированной селекции. В работах известных ученых показано, что однонуклеотидные замены в генах, кодирующих инвертазы *Pain1* и *InvCD141*, крахмалсинтазу *SSIV*, фактор транскрипции *StCDF1* и лейцин-аминопептидазу

LapN, ассоциированы с выходом клубней и крахмала и содержанием крахмала в клубне [12]. Форма гранул картофельного крахмала тесно связана с функцией генов. В работе Khlestkin V.K., Erst T.V., Rozanova I.V. et al в 2020 г. по общегеномному ассоциативному исследованию с использованием 22k SNP картофельного массива идентифицировано 53 новых SNP на хромосомах 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11 и 12; эти SNP связаны с препаративным выходом клубневого крахмала и морфологией гранул крахмала [13]. Исследователи отметили, что существенные различия в морфологии гранул крахмала наблюдались между разными сортами картофеля. Таким образом, размер и форма крахмальных гранул является сортовым признаком [14].

Изученность морфологической характеристики крахмальных гранул у селекционных форм *Solanum tuberosum* L. существенно облегчает подбор родительских пар для скрещивания и планирование объемов селекционного материала при отборе гибридов с гранулами различного размера и формы. Однако, в настоящее время отсутствуют данные о морфологии гранул в клетке, что требует решения данной задачи.

Цель настоящего исследования состоит в изучении морфологических структур крахмальных гранул в клетке клубней сортов картофеля различных групп спелости.

Материалы и методы исследований

Морфологическая структура картофельного крахмала изучалась методом флуоресцентной микроскопии с применением конфокального лазерного сканирования (CLSM) [15], который включает в себя использование лазерных лучей для увеличения контрастности и разрешения изображения нежелательных плоскостей света. Метод CLSM является наиболее эффективным для изучения образцов тканей картофеля. Гранулы крахмала, клеточные стенки и белок были четко показаны при использовании метода CLSM [15]. Различные фокальные плоскости могут быть объединены для получения изображения, что позволяет просматривать различные поперечные сечения образца. Метод позволяет осуществлять оптическое секционирование гранул крахмал и устраняет необходимость в длительной обработке образцов, такой, как сушка, встраивание и сканирование, которые обычно требуются для сканирующей электронной микроскопии. Кроме того, CLSM полезен для понимания молекулярного содержания компонентов крахмала, поскольку он позволяет визуализировать связанные с гранулами крахмала белки, которые являются индикаторами участков, где происходит биосинтез амилозы [16]. С

применением метода конфокального лазерного сканирования изучены морфологические особенности крахмальных гранул у 18 сортов картофеля: ранне-спелые – Лена, Матушка, Огниво, Colette; средне-ранние – Василек, Солнышко, Цыганка Лора, Adretta; среднеспелые – Вектор, Очарование, Фрителла; среднепоздние – Ветразь, Зольский, Казачок, Мусинский, Sifra. Данные сорта ранее не были охарактеризованы по этому признаку.

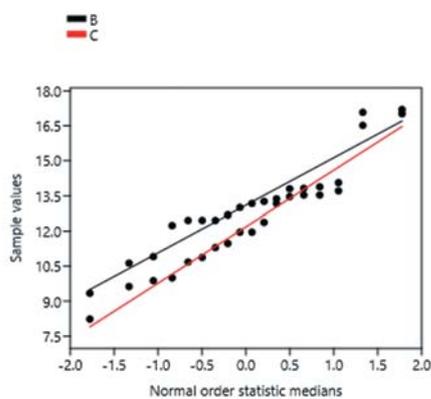
Полевые и лабораторные эксперименты проводили в ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, исследования морфологического состава гранул сортов в Дальневосточном федеральном университете в 2018-2023 гг. Содержание крахмала оценивали осенью (ноябрь) и весной (март) по общепринятой методике, основанной на определении удельной массы клубней [17]. Для этого использовали цифровые весы сухого вещества PW-2050 (Weltech, Великобритания), с точностью ±0.3 % и разрешением 0.01. У каждого образца взвешивали по 2 кг клубней. Сорта были разгруппированы по срокам созревания и содержанию крахмала в клубнях от низкого значения (9.34 %) до выше среднего (17.2 %).

В эксперименте у каждого сорта картофеля выбирали средний по величине клубень. По середине

клубня делали срез толщиной 1 см от одного края до противоположного таким образом, чтобы для анализа использовался сектор от края до края проходящий через центр клубня. Сектор нарезали на 4-5 кубиков, размером в 1 см и окрашивали их, погружая в 0.1% раствор акридинового оранжевого в 0.1 М фосфатном буфере (pH 7) в течение 5 минут. Затем кубики промывали дважды в течение 1 минуты в чистом 0.1 М фосфатном буфере с pH 7, и исследовали образец с помощью конфокального лазерного сканирующего микроскопа CLSM 800 (Zeiss, Германия) с объективом 10x. Использовали аргоновый лазер с длиной волны 488 нм для возбуждения флуоресценции, детектировали эмиссию в двух диапазонах, при 500-570 нм (зеленый) для обнаружения крахмальных гранул и флуоресценция клеточных стенок и белков эмиссия при 590-700 нм (оранжевый). У каждого образца сканировали не менее 30 участков. Для проверки достоверности полученных результатов использовали статистическую программу PAST v. 3.17.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате определения содержания крахмала в клубнях сортов выявлены отличия между ними по этому признаку (рис. 1).



	B	C
N	18	18
Min	9,34	8,23
Max	17,2	17,02
Sum	235,83	219,32
Mean	13,10167	12,18444
Std. error	0,4518417	0,5373435
Variance	3,674897	5,197285
Stand. dev	1,917002	2,279755
Median	13,085	11,96
25 prcntil	12,405	10,51
75 prcntil	13,835	13,53
Skewness	0,5028496	0,5482985
Kurtosis	1,32848	0,3056446
Geom. mean	12,97094	11,98797
Coeff. var	14,63174	18,71038

Отклонение от средних значений, %

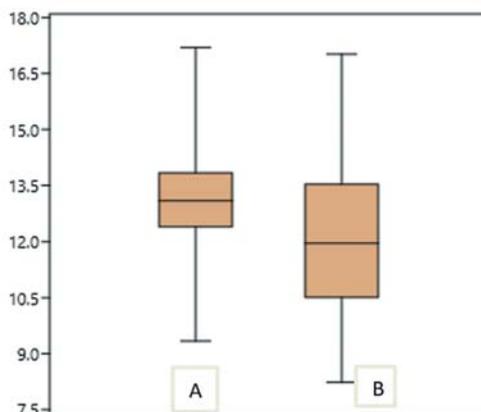
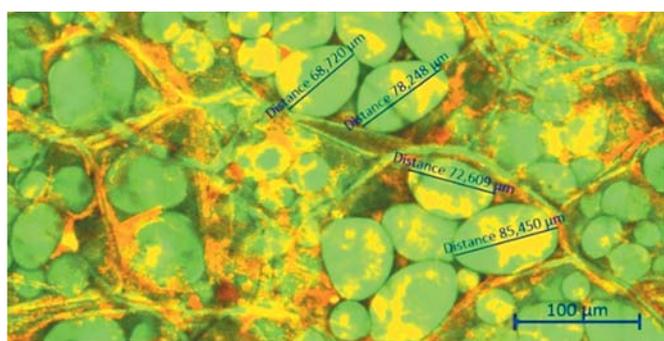


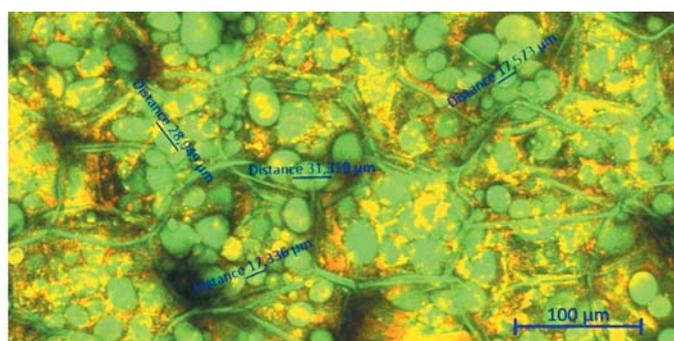
Рис. 1. Изменение содержания крахмала у генотипов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) различных групп спелости, 2018-2023 гг.): B – осень (ноябрь); C – весна (март)
Figure 1. Changes in the starch content depending on the potato genotypes (*Solanum tuberosum* L.) belonging to different maturity groups, 2018-2023): B – autumn (November); C - spring (March)

Таблица. Структура крахмальных гранул сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) по данным конфокального лазерного сканирования (CLSM), 2019-2023 гг.
Table. Structure of the starch granules of the studied potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) based on the results of confocal laser scanning microscopy (CLSM), 2019-2023.

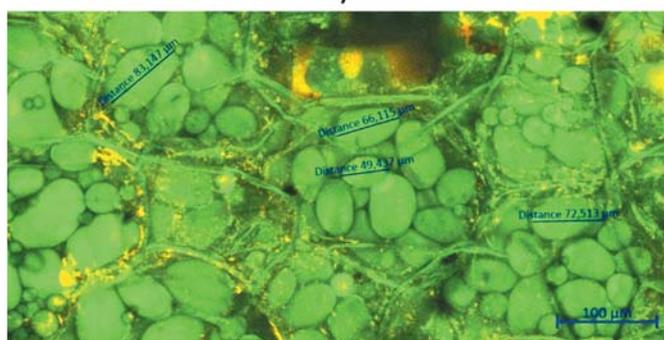
Сорт	Количество гранул в клетке в среднем, шт.	Количество гранул с размером, %			Пределы варьирования размера гранул в клетке, шт.		Соотношение крахмальных гранул разных форм в клетке, %			
		более 70 мкм	40-70 мкм	менее 40 мкм	min	max	округлая	овальная	удлиненная	неправильная
раннеспелые										
Матушка	9.7±0.2	2.3	35.3	62.4	11.9	88.0	43.6	31.5	6.2	18.7
Colette	10.6±0.2	0.0	26.6	73.4	6.8	66.5	50.3	34.1	11.0	4.6
Огниво	10.0±0.2	3.0	33.5	63.5	5.3	84.7	48.0	40.5	6.5	5.0
Антонина	8.5±0.1	0.6	31.2	68.2	5.9	72.1	47.7	34.7	12.9	4.7
среднеранние										
Adretta	9.5±0.2	4.4	32.3	63.3	6.5	108.9	47.7	33.7	8.8	9.8
Лена	12.1±0.2	2.1	36.2	61.7	9.1	87.5	50.0	25.4	12.1	12.5
Солнышко	9.0±0.2	2.8	27.6	69.6	9.0	84.0	30.9	37.6	20.9	10.6
Василек	9.5±0.2	3.5	33.9	62.6	15.7	82.9	23.9	52.6	10.3	13.2
Лилея	10.8±0.2	0.0	34.0	66.0	7.1	67.8	38.1	48.4	10.2	3.3
среднепоздняя										
Цыганка Лора	7.2±0.1	15.1	54.7	30.2	14.7	82.4	35.4	35.4	20.3	8.9
Фрителла	7.5±0.1	8.7	54.7	36.6	15.8	82.9	24.8	39.0	24.5	12.7
Очарование	7.7±0.1	9.4	72.7	16.8	17.4	88.9	24.9	37.9	23.5	13.7
Вектор	7.5±0.1	0.4	74.0	25.6	9.5	71.4	53.4	36.2	5.0	5.4
среднепоздняя										
Ветразь	6.9±0.1	14.7	50.0	35.3	11.2	84.6	34.7	36.8	16.1	12.4
Мусинский	6.2±0.1	12.2	52.8	35.0	13.4	84.6	35.8	27.7	4.9	31.6
Зольский	7.1±0.1	40.1	59.9	0.0	10.7	65.3	42.1	34.2	15.0	8.7
Казачок	6.8±0.1	12.4	56.9	30.7	10.3	90.7	42.1	27.2	16.1	14.6
Sifra	12.1±0.2	20.2	43.8	36.0	9.7	26.4	48.8	12.8	12.0	26.4



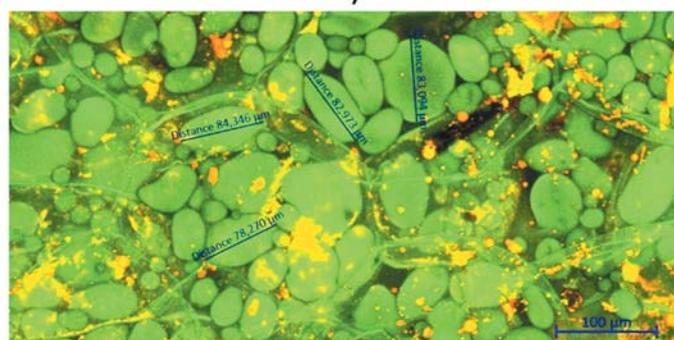
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Крахмальные гранулы с применением конфокального лазерного микроскопа: а) среднепоздний сорт картофеля Казачок; б) раннеспелый сорт картофеля Colette; в) среднеспелый сорт картофеля Очарование; г) среднепоздний сорт картофеля Sifra
Figure 2. Starch granules with the use of a confocal laser scanning microscope: a) medium late potato variety Kazachok; б) early-maturing potato variety Colette; в) mid-season potato variety Ocharovanie; г) medium-late potato variety Sifra

В работе белорусских исследователей при изучении крахмалистости сортов было установлено, что уровень содержания крахмала в гранулах, выделенных из клубней различных сортов картофеля, тесно связан со сроком их созревания. В частности, в группе ранних сортов он варьировал от 11.1 до 14.7 %, среднеранних – от 11.4 до 14.5 %, среднеспелых – от 15.7 до 19.5 % и в группе среднепоздних – от 18.3 до 23.0 % [7].

По данным ряда ученых крахмалистость в клубнях сортов различных групп спелости имела существенную тенденцию увеличения от группы раннеспелых до среднепоздних сортов картофеля. Содержание крахмала в группе раннеспелых составило 14.6 %, среднеранних – 15.5 %, среднеспелых – 16.3 %, среднепоздних – 16.9 %, или на 2.3 % больше по сравнению с раннеспелыми сортами [15, 18].

В наших исследованиях установлено, что сорта из среднеспелой и среднепоздней групп созревания более крахмалистые, чем сортообразцы из более ранних групп спелости. В среднем разница по содержанию крахмала между этими группами составила 1.97 %. Образцы с высокой крахмалистостью рекомендуются на переработку для получения крахмалопродуктов. Сорта с низким количеством крахмала относятся к источникам диетического направления.

Значение имеет не только общее содержание крахмала в клубнях, но и соотношение больших гранул к мелким [8]. Применение метода флуоресцентной микроскопии позволило охарактеризовать гранулометрический состав непосредственно в клетках каждого сорта, определить размер и форму гранул, а также соотношение крупных гранул к мелким. Крахмальные зерна и форма клеток были визуализированы (табл., рис. 2).

Применение конфокального микроскопа дает возможность рассмотреть не только размер гранул, но и их форму. При изучении морфологических характеристик крахмальных гранул зарубежными учеными были выделены образцы картофеля с гранулами удлиненной формы, отношение длины к ширине варьировалась от 1.30 до 1.49. В ходе исследований обнаружены сорта с гранулами неправильной формы. Установлено, что крахмальные гранулы диких видов имеют более удлиненную форму, чем у культурного картофеля [19, 20].

В наших исследованиях изученные сорта, независимо от срока созревания и происхождения, имели преимущественно гранулы округлой и овальной формы. Выделены сорта с содержанием округлых гранул 50 % и более – Colette, Лена, Вектор. С удлиненной формой зерен (более 20 % от общего числа зерен в клетке) отмечены сорта Солнышко, Очарование, Фрителла, Цыганка Лора. Клетки сортов

Очарование, Солнышко и Фрителла содержали более 20 % гранул удлиненного типа. Сорт Мусинский имел треть гранул (31.6 %) неправильной формы, что затруднит переработку его клубней на крахмал. Размеры крахмальных гранул и их процентное распределение в зрелых клубнях различались среди изученных генотипов.

Заключение

В результате анализа данных, полученных при использовании метода, установлена прямая связь между количеством крупных крахмальных зерен в клетке и сортовой особенностью – срока созревания. Пределы варьирования количества зерен в клетке составили от 6.2 до 12.1 штук. Отмечено, что сорта из ранних групп спелости имели больше гранул, чем образцы более позднего срока созревания. Генотипы среднеспелого и среднепозднего сроков созревания имеют в клетках больше половины крахмальных гранул размером 40-70 мкм и более, несмотря на то, что по количеству их меньше, чем у сортов раннеспелых и среднеранних. Клетки клубней раннеспелых и среднеранних сортов в основном включали зёрна размером менее 40 мкм. Установлено, что сорта из среднеспелой и среднепоздней групп созревания более крахмалистые, чем сортообразцы из более ранних групп спелости. Разница по содержанию крахмала между этими группами составила 1.97 %. На основании полученных данных разработан "Способ отбора сортов картофеля с крупными крахмальными гранулами в клетке клубня" (№ 2764103, дата регистрации в Государственном реестре изобретений РФ 13.01.2022 г.).

Данные морфологического анализа гранулометрического состава различных сортов, полученные с помощью конфокального лазерного микроскопа позволили установить форму и размер гранул в клетке клубня картофеля, а также определить количественное соотношение крупных гранул к мелким. Сравнительное исследование морфологической структуры картофельного крахмала сортов различных сроков созревания и происхождения позволило выявить связь между сроком созревания и размером гранул. Установлена положительная связь между сортами среднего и среднепозднего срока созревания и свойством сохранять крахмал в клубне в течение длительного хранения. Таким образом, полученные результаты исследования позволят на первоначальном этапе селекционной работы проводить отбор ценных образцов и способствовать повышению эффективности создания специальных гибридов и сортов для производства продуктов различного назначения (диетического, пищевого и технического).

• Литература / References

1. Tetlow I.J. Starch Biosynthesis in Crop Plants. *Agronomy*. 2018;(8):81. <https://doi.org/10.3390/agronomy8060081>
2. Bertoft E. Understanding Starch Structure: Recent Progress. *Agronomy*. 2017;7(3):56. <https://doi.org/10.3390/agronomy7030056>
3. Ruskina A.A., Popova N.V., Naumenko N.V. et al. Analysis of Contemporary Methods of Modification of Starch as an Instrument of Enhancing its Technological Properties. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*. 2017;5(3):12–20. <https://doi.org/10.14529/food170302>
4. Lizarazo H.S.P., Hurtado R.G.G., Rodríguez C.L.F. Physicochemical and morphological characterization of potato starch (*Solanum tuberosum* L.) as raw material for the purpose of obtaining bioethanol. *Agronomía Colombiana*. 2015;33(2):244-252. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.47239>
5. Shirani-Bidabadi M., Nazarian-Firouzabadi F., Sorkheh K. et al. Transcriptomic analysis of potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber development reveals new insights into starch biosynthesis. *PLoS One*. 2024;19(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297334>
6. Ulbrich M., Salazar M. L., Flöter E. Separation and molecular characterization of the amylose- and amylopectin-fraction from native and partially hydrolyzed potato starch. *Starch - Stärke*. Vol. 69. Issue 7-8. <https://doi.org/10.1002/star.201600228>
7. Литвяк В.В., Заболотец А.А., Симаков Е.А. и др. Особенности морфологической структуры гранул крахмала различных сортов картофеля. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(11):55-59. [Lityvak V.V., Zabolotets A.A., Simakov E.A., Mitushkin 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 in agro-industrial complex*. 2019;33(11):55-59. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11112> <https://www.elibrary.ru/thpmqh>
8. Brust H., Orzechowski S., Fettke J. Starch and Glycogen Analyses: Methods and Techniques // *Biomolecules*. 2020;10(7):1020. <https://doi.org/10.3390/biom10071020>
9. Хлесткин В.К., Пельтек С.Е., Колчанов Н.А. Гены-мишени для получения сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с заданными свойствами крахмала (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(1):25-36. [Khlestkin V.K., Peltek S.E., Kolchanov N.A. Target genes for development of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars with desired starch properties (review). *Agricultural biology*. 2017;52(1):25-36. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15389/agrobiolgy.2017.1.25rus> <https://www.elibrary.ru/yfqfch>
10. Andersson M., Turesson H., Nicolia A. et al. Efficient targeted mutational mutagenesis in tetraploid potato (*Solanum tuberosum*) by transient CRISPR-Cas9 expression in protoplasts. *Plant Cell Rep*. 2017;(36):117-128. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2062-3>
11. Hou J., Liu T., S. Reid et al. Silencing of α -amylase StAmy23 in potato tuber leads to delayed sprouting. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;(139):411-418. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.044>
12. Schonhals E.M., Ortega F., Barandalla L. et al. Identification and reproducibility of diagnostic DNA markers for tuber starch and yield optimization in a novel association mapping population of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theor. Appl. Genet*. 2016;(129):767-785. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2665-7>
13. Khlestkin V.K., Erst T.V., Rozanova I.V. et al. Genetic loci determining potato starch yield and granule morphology revealed by genome-wide association study (GWAS). *PeerJ*. 2020;(8):e10286. doi: 10.7717/peerj.10286
14. Khlestkin V.K., Rozanova I.V., Efimov, V.M. et al. Starch phosphorylation associated SNPs found by genome-wide association studies in the potato (*Solanum tuberosum* L.). *BMC Genet*. 2019;(20):29. <https://doi.org/10.1186/s12863-019-0729-9>
15. Larder C., Baeghbal V., Pilon C. et al. Effect of Non-Conventional Drying Methods on In Vitro Starch Digestibility Assessment of Cooked Potato Genotypes. *Foods*. 2019;8(9):1-14. <https://doi.org/10.3390/foods8090382>
16. Zhao F., Jing L., Wang D. et al. Grain and starch granule morphology in superior and inferior kernels of maize in response to nitrogen. *Sci Rep*. 2018;(8):6343. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23977-0>
17. Lityvak V.. Size and morphological features of native starch granules of different botanical origin. *Ukrainian Food Journal*. 2018;7(4):563-576. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-4-3>
18. Ильчук П.В. Урожайность и крахмалистость клубней картофеля в зависимости от группы спелости сорта и погодноклиматических условий во время вегетации. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2014;(2):81-84. [Ilchuk R.V. Productivity and starchiness of potato tubers depending on the maturity group of the variety and weather and climatic conditions during the growing season. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2014;(2):81-84. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/zcrjih>
19. Zhang X., Cheng Y., Jia X. et al. Effects of Extraction Methods on Physicochemical and Structural Properties of Common Vetch Starch. *Foods*. 2022;(11):2920. doi.org/10.3390/foods11182920
20. Li K., Zhang T., Zhao W. et al. Characterization of starch extracted from seeds of *Cycas revolute*. *Front Nutr*. 2023;(10):1159554. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1159554>

Об авторах:

Ирина Вячеславовна Ким – главный научный сотрудник лаборатории диагностики болезней картофеля, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>, SPIN-код: 4991-4382, автор для переписки, kimira-80@mail.ru

Дмитрий Игоревич Волков – заведующий отделом картофелеводства и овощеводства, <https://orcid.org/0000-0002-9364-9225>, SPIN-код: 7420-6384, volkov_dima@inbox.ru

Алексей Григорьевич Клыков – заведующий отделом селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур, <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>, SPIN-код: 2857-8546

About the Authors:

Irina V. Kim – Chief Researcher, Laboratory for Diagnostics of Potato Diseases, <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>, SPIN-code: 4991-4382, Correspondence Author, kimira-80@mail.ru

Dmitry I. Volkov – Head of the Potato and Vegetable Growing Department, <https://orcid.org/0000-0002-9364-9225>, SPIN-code: 7420-6384, volkov_dima@inbox.ru

Aleksei G. Klykov – Head of Department, Department of Selection and Biotechnology Crops, <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>, SPIN-code: 2857-8546