

УДК 633.49:631.527

**А. В. Митюшкин, А. А. Журавлев, В. А. Жарова,
Ал-р В. Митюшкин, С. С. Салюков, С. В. Овечкин,
А. С. Гайзатулин, Е. А. Симаков**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
картофельного хозяйства имени А. Г. Лорха», пос. Красково,
Люберецкий район, Московская область, Россия
E-mail: vniikh@mail.ru

ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОДБОР РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ В СЕЛЕКЦИИ СТОЛОВЫХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ

РЕЗЮМЕ

В статье представлены современные сведения о пищевой ценности клубней столовых сортов картофеля, являющихся источником высокоустойчивого крахмала, витамина С, белка и минеральных веществ – калия, фосфора, магния, железа и цинка. Сорта картофеля с разноцветной мякотью отличаются высокой концентрацией каротиноидов и антоцианов, обладающих повышенной антиоксидантной активностью. Использование современных методов массовой оценки содержания макро- и микрокомпонентов в клубнях широкого разнообразия генетических ресурсов картофеля позволяет осуществлять эффективный подбор родительских компонентов в селекции сортов нового поколения, отличающихся повышенной питательной ценностью клубней.

Ключевые слова: картофель, селекция, биохимический состав клубней, макро- и микрокомпоненты, питательная ценность клубней.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия картофель по достоинству занимает второе место среди пищевых культур и вносит огромный вклад в решение проблемы питания человека в отношении макро- (углеводы, протеин, волокна) и микроэлементов (витамины, минеральные вещества и вторичные метаболиты) [7], причем среди витаминов – прежде всего витамин С, минеральных элементов – калий, фосфор и магний [2]. Кроме того, картофель является источником антиоксидантов, среди которых аскорбиновая кислота, каротиноиды и соединения фенола [3, 10]. При этом существующие возможности спектрального анализа в ближней инфракрасной области (NIRS), доступные для использования в оценке содержания крахмала, глюкозы, фруктозы, сахарозы и протеина в клубнях картофеля, также успешно применимы и в отношении определения содержания витаминов, каротиноидов и минеральных веществ. Использование NIRS для идентификации сортов образцов генетической коллекции картофеля с потенциально полезными качествами в отношении пищевой ценности является весьма перспективным в реализации селекционных программ, ориентированных на создание сортов картофеля нового поколения.

Целью исследования является оценка перспективы использования сортов образцов картофеля различного генетического происхождения в селекции высокопродуктивных и устойчивых к патогенам столовых сортов с повышенным содержанием макро- и микрокомпонентов в клубнях, обуславливающих их питательную ценность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Экспериментальные исследования проведены в 2015–2017 гг. в условиях мелкоделяночных опытов экспериментальной базы ФГБНУ ВНИИКХ «Пышлицы» Шатурского и «Коренево» Люберецкого районов Московской области. Опытные коллекционные сортообразцы выращивали в идентичных почвенных и агротехнических условиях. При уборке от каждого сортообразца отбирали по 15–20 здоровых клубней среднего размера (диаметром 5–6 см округлой и 4–5 см овальной формы) и сохраняли в условиях оптимальной температуры и влажности воздуха для проведения биохимических анализов. Лабораторные оценки проводили через 1,5–2,0 месяца послеуборочного хранения. Крахмалистость клубней определяли по удельной массе согласно общепринятой методике (2006), окраску мякоти – в соответствии с классификацией UPOV, а кулинарные качества – потемнение мякоти сырых и вареных клубней, мучнистость, разваримость и вкус – по методике, рекомендованной международной рабочей группой EAPR (2001). Анализ содержания макро- и микрокомпонентов в клубнях с использованием инфракрасного анализатора проводили совместно с ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений (Московская область, г. Солнечногорск).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При сравнительном изучении содержания крахмала в клубнях коллекционных сортообразцов картофеля в качестве стандарта использовали высококрахмалистый сорт Накра, средняя крахмалистость которого составляла 18,4 %. Наиболее благоприятным для крахмалонакопления оказался 2016 г., когда сумма температур и количество осадков приближались к средним многолетним. 2015 г. отличался неравномерным выпадением осадков, что способствовало усиленному дыханию растений, израстанию клубней и замедлению процесса крахмалонакопления. В погодных условиях 2017 г., неблагоприятных для крахмалонакопления, оптимального уровня минерального питания и довольно короткого вегетационного периода ни один среднеспелый сорт по крахмалистости не достиг уровня сорта Накра. В частности, наиболее высококрахмалистым оказался сорт Свитанок Киевский с содержанием крахмала в среднем за 2015–2017 гг. на уровне 17,8 % (табл. 1).

Согласно представленным данным, изучаемая группа сортообразцов в своем большинстве имеет светло-желтую окраску мякоти и только сорта Удача, Василек, Наяда – белую, Ягодка и гибриды 88.16/20, 90.30/3, 81.14/61 – кремовую, Юбиляр – желтую, Сюрприз – розовую и Фиолетовый – фиолетовую, что обусловлено содержанием каротиноидов или антоцианов.

Оценка коллекционных сортообразцов по интенсивности потемнения мякоти сырых и вареных клубней показала, что наиболее стабильными в отношении данного признака (8–9 баллов) оказались сорта Накра, Наяда, Пикассо, Сатурна и гибриды 88.16/20, 90.30/3; умеренно и слаботемнеющую мякоть имели сорта Блакит, Фелокс, Рая, Свитанок Киевский и Василек; сильнотемнеющую – сорта Адора, Аусония, Кардинал, Удача, Черниговский, Ягодка и гибрид 81.14/61. Отсутствие тесной связи интенсивности потемнения мякоти как сырых, так и вареных клубней с содержанием крахмала и сроком созревания сортов обуславливает необходимость тщательного подбора компонентов для скрещивания, отличающихся высокой устойчивостью к потемнению мякоти клубней в сыром и вареном виде.

Кроме того, изучаемый сортимент картофеля оценивали с точки зрения вкусовых и кулинарных качеств клубней. Хорошим вкусом клубней с оценкой выше 4,0 баллов,

РАЗДЕЛ 1. СЕЛЕКЦИЯ КАРТОФЕЛЯ

Таблица 1 – Характеристика кулинарных качеств клубней коллекционных сортов картофеля, 2015–2017 гг.

Сорт, гибрид	Срок созревания	Содержание крахмала, %	Окраска мякоти	Потемнение мякоти клубней, балл		Органолептические показатели, балл		
				сырых	вареных	Мучнистость	Разваримость	Вкус
Адора	Среднеранний	13,5	Светло-желтая	5	5	5	7	4,0
Аусония	Среднеранний	13,0	Светло-желтая	6	5	7	7	4,2
Блажит	Среднепоздний	14,7	Светло-желтая	7	7	5	7	3,9
Фелокс	Ранний	12,7	Светло-желтая	7	7	5	7	4,0
Гранола	Среднеспелый	12,5	Светло-желтая	7	9	7	7	4,1
Кардинал	Среднеспелый	15,6	Светло-желтая	6	5	5	7	4,0
Конкорд	Среднеспелый	16,5	Светло-желтая	7	5	7	7	4,2
Накра	Среднеспелый	18,4	Светло-желтая	9	8	7	7	4,1
Наяда	Среднеспелый	14,6	Белая	8	8	5	5	4,0
Нида	Среднеспелый	14,2	Светло-желтая	7	7	7	7	4,5
Пикассо	Среднепоздний	14,5	Светло-желтая	9	8	5	7	3,8
Рая	Среднеранний	13,2	Светло-желтая	7	7	5	7	4,0
Романо	Среднеранний	12,3	Кремевая	6	7	7	5	3,9
Сатурна	Среднеспелый	16,2	Светло-желтая	9	8	5	5	3,8
Свитанок Киевский	Среднеранний	17,8	Светло-желтая	7	7	7	7	5,0
Удача	Ранний	12,3	Белая	5	5	5	5	4,0
Черниговский	Среднеранний	12,6	Светло-желтая	5	5	5	7	4,0
Ягодка	Ранний	11,0	Кремевая	5	5	7	7	4,1
Василек	Среднеспелый	10,4	Белая	7	7	5	5	4,9
Фиолетовый	Среднепоздний	11,9	Фиолетовая	–	–	7	5	4,5
Сюрприз	Среднеспелый	12,2	Розовая	–	–	5	5	4,0
Юбилар	Ранний	13,3	Желтая	8	8	5	7	4,0
88.16/20	Среднеспелый	16,4	Кремевая	9	9	7	7	4,4
90.30/3	Среднеспелый	15,8	Кремевая	8	8	7	9	4,2
81.14/61	Среднеспелый	15,5	Кремевая	5	5	5	9	4,0

сильной разваримостью и рассыпчатостью их мякоти выделялись сорта Аусония, Гранола, Конкорд, Накра, Нида, Свитанок Киевский, Ягодка, Василек и гибриды 86.16/20, 90.30/3.

При анализе биохимического состава клубней картофеля установлена значительная вариабельность его показаний в зависимости от сорта и различных факторов внешней среды: погодных условий, почвы, обеспеченности ее влагой и агротехнических мероприятий, а также физиологической зрелости клубней и режима их хранения. В частности, относительно макроэлементов следует подчеркнуть, что явным преобладанием среди них в клубнях картофеля отличался углеводный компонент преимущественно в виде крахмала. При этом важной особенностью крахмала является отношение амилозы к амилопектину и степень фосфолирования, способные влиять на его физико-химические свойства и, в частности, такой показатель, как вязкость. Картофельный крахмал представлен в виде гранул, обычно содержащих амилозу и амилопектин в соотношении 1:3. Разветвленная структура амилопектина позволяет ему усваиваться гораздо лучше, нежели амилозе со структурой в виде линейной цепочки, что способствует усилению гликемической реакции [6]. Следует отметить, что крахмал легко усваивается в картофельных блюдах длительного приготовления. При этом неустойчивая фракция усвоенного крахмала может не участвовать в процессе пищеварения в переднем отделе кишечника, а ферментировать в заднем его отделе. Однако устойчивый крахмал необходим в питании человека, поскольку обоснована его полезность для предупреждения и контроля заболеваний пищеварительной системы и сбоя в обмене веществ [7]. В процессе приготовления фракции крахмала становятся желатиноподобными и легко усваиваются, а при охлаждении процесс желатинирования замедляется, и в таком картофеле оказывается около 13 % устойчивого крахмала [4]. Ковалентно-связанный фосфор присутствует в крахмале картофеля в значительном количестве по сравнению с другими растительными крахмалами и влияет на его основные свойства – желатинирование и клейкость, которые определяют целесообразность использования картофеля для переработки на различные виды картофелепродуктов [1].

В клубнях картофеля выявлены также сахара, среди которых основным дисахаридом является сахароза, а среди моносахаридов – глюкоза и фруктоза. Как известно, обжарка при высоких температурах приводит к реакции Майларда между редуцирующими сахарами и свободными аминокислотами. Присутствие же излишнего количества редуцирующих сахаров в клубнях приводит к нежелательному потемнению и горьковатому вкусу обжаренных продуктов, а также может привести к образованию акриламида (потенциального канцерогена). Поэтому рекомендуемое содержание редуцирующих сахаров в клубнях не должно превышать 0,3–0,5 %.

При анализе содержания протеина в клубнях сортов картофеля оно оказалось незначительным и составляло 1,6–2,5 % в сырой массе. Это вполне сопоставимо с его содержанием в корнях и клубнях других растений. Однако биологическая ценность протеина картофеля как растительного источника уступает только протеину мяса и гораздо выше протеина пшеницы, овса и многих овощей. Важной характеристикой протеина картофеля является наличие почти всех незаменимых аминокислот и значительное содержание в нем лизина, хотя в нем не хватает метионина. Поэтому картофель является существенным дополнением к зерновым с низким содержанием лизина в качестве комбинированных источников высококачественного протеина.

Содержание жиров в клубнях картофеля совсем незначительно – менее 1 %. Однако такое содержание несущественно с точки зрения питания, но весьма ощутимо оказывает влияние на вкус.

РАЗДЕЛ 1. СЕЛЕКЦИЯ КАРТОФЕЛЯ

Кроме того, биохимический состав клубней сортообразцов картофеля включает микроэлементы, представленные большим количеством различных минеральных веществ, что наглядно демонстрируют данные таблицы 2.

В частности, калий – это преобладающий минеральный элемент в клубнях картофеля, содержание которого варьировало от 451 до 710 мг/100 г. Калий необходим в относительно больших количествах, поскольку играет ключевую роль в функционировании нервной системы человека. В 100 г картофеля содержится более 10 % от рекомендуемой суточной нормы (RDA) калия для взрослого человека (суточная норма калия составляет 4000–4700 мг/день). Высокое содержание калия способствует контролю над повышенным кровяным давлением и снижает риск инсульта [2].

Фосфор и магний также выявлены в клубнях картофеля в значительных количествах – 96–130 мг/100 г и 26–33 мг/100 г соответственно. Сто граммов картофеля с наибольшим содержанием фосфора и магния могут обеспечить 10–17 % и 10–13 % соответственно от рекомендуемой суточной нормы (700–1250 мг/день для фосфора и 320–420 мг/день для магния) [5].

Кальций обнаружен в клубнях в меньшем количестве (9–15 мг/100 г). При потреблении 100 г картофеля количество кальция составляет менее 1 % от рекомендуемой суточной нормы (1000–1300 мг/день). Однако кальций имеет особое значение для организма человека, так как смягчает ответную реакцию на абиотические стрессы (жару, холод) [8].

В клубнях сортообразцов картофеля содержится смесь разнообразных антиоксидантов из витамина С, каротиноидов и полифенолов, оказывающих влияние на снижение частоты возникновения сердечной недостаточности, некоторых видов онкологических заболеваний, макулярной дистрофии, тяжелых случаев катаракты.

Среди витаминов в клубнях картофеля обнаружено значительное содержание витамина С (аскорбиновой и дегидроаскорбиновой кислот), небольшое количество витаминов В₃ и В₅, а также водорастворимых витаминов, таких как витамин В₁ (тиамин) и витамин В₆ (пиридоксин). Жирорастворимые витамины, включая витамин Е, отмечены в незначительных количествах (табл. 3).

Клубни свежесобранного картофеля существенно различались по содержанию аскорбиновой кислоты, которое может достигать 50 мг/100 г сырой массы. В зависимости от генотипа и условий выращивания содержание аскорбиновой кислоты в свежесобранном картофеле колебалось от 6,5 до 26,9 мг/100 г сырой массы клубней.

Таблица 2 – Содержание минеральных веществ в клубнях сортообразцов картофеля (среднее), 2016 г.

Минеральные вещества	Содержание в 100 г клубней		
	min	max	среднее
Жидкость, г	33	65	49
Калий, мг	451	710	550
Фосфор, мг	96	130	111
Магний, мг	26	33	28
Кальций, мг	9	15	12
Железо (общ.), мг	0,73	1,26	0,90
Цинк, мг	0,38	1,03	0,59
Марганец, мг	0,20	0,25	0,21
Медь, мг	0,13	0,34	0,21
Йод, мкг	7,21	29,11	14,30
Селен, мкг	0,005	0,42	0,27

РАЗДЕЛ 1. СЕЛЕКЦИЯ КАРТОФЕЛЯ

Таблица 3 – Содержание витаминов в клубнях сортообразцов картофеля (среднее), 2016 г.

Витамины	Среднее содержание в 100 г клубней
С, мг	13,30
В ₃ , мг (РР или ниацин)	2,22
В ₅ , мг (пантотеновая кислота)	0,52
Е, мг	0,19
В ₆ , мг (пиридоксин)	0,18
В ₁ , мг (тиамин)	0,12
В ₂ , мг (рибофлавин)	0,03
В ₉ , мкг (фолат общ.)	28

Процесс приготовления клубней снижает концентрацию аскорбиновой кислоты, и в зависимости от способа приготовления эти различия весьма значительные. В частности, концентрация витамина С в клубнях, сваренных в мундире, выше, чем у запеченных или приготовленных в микроволновой печи. Содержание сохраненной аскорбиновой кислоты для сваренного, запеченного и приготовленного в микроволновой печи картофеля составляет 53–97, 6–66 и 6–39 % соответственно [7].

Относительно содержания каротиноидов в клубнях сортов картофеля необходимо отметить, что оно отражается на цвете мякоти. Сорта с желтой мякотью клубней содержали значительно больше каротиноидов. В частности, концентрация этих соединений варьирует от 125,8 до 184,0 мкг/100 г сырой массы клубней сортообразцов с желтой мякотью. Причем основным каротиноидом является зеаксантин [3]. Клубни с кремовым цветом мякоти содержали незначительные концентрации каротиноидов в пределах 97,4–262,7 мкг/100 г сырой массы клубней с лютеином, виолаксантином и бета-каротином в качестве основных каротиноидов. Кстати, лютеин и зеаксантин – два каротиноида, которые обнаружены в высоких концентрациях в человеческой сыворотке и локализованы в сетчатке глаза, предохраняя от макулярной дистрофии. Более того, в клубнях картофеля с желтой мякотью зеаксантин обнаружен в концентрациях, близких к 129,0 мкг/100 г сырой массы, что очень важно, поскольку пищевые источники зеаксантина очень ограничены (маис и паприка). Полифенольные соединения представляют собой вторичные метаболиты растений и классифицируются как фенольные кислоты, флавоноиды и танины. Флавоноиды включают в себя антоцианы – натуральные пигменты, придающие красно-синий с фиолетовым цвет клубням, а также многим фруктам и овощам. Благодаря своим антиоксидативным возможностям полифенолы обладают потенциально полезными для здоровья свойствами, включая антибактериальные, противовирусные и противовоспалительные свойства, а также оказывают сосудорасширяющее действие [5].

В этой связи важно подчеркнуть довольно существенное преимущество новых столовых сортов для диетического питания Василек, Сюрприз и Фиолетовый по уровню антиоксидантной активности, величина которой в клубнях этих сортов в 2,8–3,0 раза выше в сравнении с другими столовыми сортами (табл. 4).

Данное преимущество сортов для диетического питания связано с наличием антоцианов флавоноидной природы (катехин, эпикатехин, гликозиды) у сортов с фиолетовой окраской кожуры и мякоти (Василек, Фиолетовый) или каротиноидов группы ксантофиллов (лютеин, зеаксантин, виолаксантин) у сорта с ярко-розовой окраской кожуры и мякоти клубней (Сюрприз). Общая концентрация флавоноидов варьировала от 48,6 до 55,2 мг/100 г сырой массы клубней в зависимости от сорта и условий выращивания. Безусловно, высокие концентрации антоцианов обнаружены в голубике, малине, баклажане и в пурпурном маисе, однако вклад картофеля может быть гораздо выше из-за

РАЗДЕЛ 1. СЕЛЕКЦИЯ КАРТОФЕЛЯ

Таблица 4 – Биохимические показатели клубней сортов картофеля для диетического питания, 2015–2016 гг.

Показатели	Сорта			
	Василек	Сюрприз	Фиолетовый	Удача (контроль)
Сухое вещество, %	16,6	15,3	14,1	17,2
Общий белок, %	3,2	3,6	3,9	2,0
Витамин С, мг%	22,4	23,2	25,2	10,0
Антоцианы, % на сухое вещество	10,3	2,8	13,3	0,0
Флавоноиды, мг/100 г сырого вещества	53,7	48,6	55,2	39,1
Антиоксидантная активность, мг галловой кислоты/г картофеля	4,85	4,17	5,11	1,24

количества его потребления. Потенциал антиоксидантов напрямую связан с концентрацией антоцианов в клубнях картофеля. Поэтому потребление в пищу фиолетового и красного картофеля может иметь существенное значение в предохранении организма человека от преждевременного старения и целого ряда тяжелых хронических заболеваний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Картофель является одним из высокоэнергетических пищевых продуктов, богатых углеводами и содержащих незначительное количество жиров. При этом он является источником высокоустойчивого крахмала, оптимизация которого возможна в зависимости от сортовых особенностей. В клубнях сортов картофеля содержится достаточное количество витамина С, которое варьирует также в зависимости от их генотипического происхождения и способа приготовления. Кроме того, картофель является источником минеральных веществ, среди которых преобладает калий, но не менее важны железо и цинк. Поэтому селекция на увеличение концентрации этих микроэлементов имеет решающее значение в снижении дефицита питательных веществ, особенно в регионах с большим потреблением картофеля.

Диетические сорта картофеля с окрашенной мякотью являются хорошим источником антиоксидантов, таких как каротиноиды и полифенолы, способствующих предупреждению как дегенеративных, так и возрастных заболеваний. Сорта с ярко-желтой мякотью отличаются высокой концентрацией каротиноида зеаксантина, участвующего в предохранении зрения человека от макулярной дистрофии. Картофель с фиолетовой мякотью является источником антоциана – натурального пигмента, обладающего высоким антиоксидантным потенциалом. Использование метода, основанного на спектральном анализе в ближней инфракрасной области (NIRS) для массовой оценки содержания макро- и микроэлементов в клубнях, значительно облегчает оценку генетических ресурсов картофеля для подбора родительских форм при селекции сортов нового поколения с улучшенными пищевыми достоинствами.

Список литературы

1. Bertoft, E. Structure of potato starch / E. Bertoft, A. Blennow // *Advances in potato chemistry and technology*. – 2009. – P. 83–98.
2. Bethke, J. The effects of boiling and leaching on the content of potassium and other minerals in potatoes / J. Bethke // *J. Food Sci.* – 2008. – Vol. 73. – P. 80–85.
3. Duthie, G. Plant polyphenols in cancer and heart disease: implications as nutritional antioxidants / G. Duthie, S. Duthie, J. Kyle // *Nut. Res. Rev.* – 2000. – № 13. – P. 79–106.

4. Englyst, H. N. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions / H. N. Englyst, S. M. Kingman, J. H. Cummings // Eur. J. Clin. Nut. – 1992. – № 46. – P. 533–550.
5. Horton, D. La Papa: Produccion, comercializacion y programas. Potato: Production, marketing and programs / D. Horton // Co-publication of the Internacional Potato Center, Lima, Peru. – Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur, 1992. – P. 1–270.
6. Kumar, D. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes / D. Kumar, B. P. Singh, P. Kumar // Ann. Appl. Biol. – 2004. – Vol. 145. – P. 247–256.
7. Nofrarias, M. Potential health benefits of potato starch / M. Nofrarias, D. Martinez-Puig, J. F. Perez // Global Science Books. – 2009. – № 3. – P. 1–7.
8. Palta, J. P. Role of calcium in plant responses to stresses: Linking basic research to the solution of practical problems / J. P. Palta // Hort. Sci. – 1996. – Vol. 31. – P. 51–57.
9. Tuber and starch quality of wild and cultivated potato species and cultivars Potato research / G. Jansen [et al.]. – 2001. – Vol. 44. – P. 137–146.
10. Woolie, J. A. The Potato in the Human Diet / J. A. Woolie // Cambridge (UK), University Press. – 1987. – P. 1–231.

Поступила в редакцию 10.09.2018 г.

A. V. MITYUSHKIN, A. A. ZHURAVLEV, V. A. ZHAROVA,
 Al-r V. MITYUSHKIN, S. S. SALYUKOV, S. V. OVECHKIN,
 A. S. GAYZATULIN, E. A. SIMAKOV

EFFECTIVE SELECTION OF PARENTAL FORMS IN GARDEN POTATOES VARIETIES BREEDING FOR A HEALTHY DIET

SUMMARY

The modern data on nutritional value of garden potatoes tubers which are the source of stable starch, vitamin C, protein and minerals-potassium, phosphorus, magnesium, iron and zinc are presented in the article. Potatoes varieties with multicolored pulp have a high concentration of carotenoids and anthocyanins with high antioxidant activity. The use of modern methods for mass evaluation of the content of macro- and micro-components in tubers of a wide diversity of genetic resources of potatoes provides for effective selection of parental components in the breeding of varieties of new generation, improved nutritional tubers value.

Key words: potatoes, selection, biochemical tubers structure, macro- and micro-components, nutritional tubers value.