

УДК 635.21

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ КЛУБНЕЙ СОРТОВОГО КАРТОФЕЛЯ

© С.А. Алексашина*, Н.В. Макарова

Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100 (Россия), e-mail: rector@samgtu.ru

Одной из проблем современного общества является возрастающее губительное влияние активных форм кислорода (АФК) на клеточную структуру организма человека – так называемый оксидативный стресс. Картофель употребляется в пищу практически повсеместно. Он может стать стабильным и дешевым источником поступления натуральных антиоксидантов в организм человека, тем самым оказывая профилактическое действие от хронических неинфекционных заболеваний (онкология, сахарный диабет, болезни сердечно-сосудистой системы). Для сокращения технологического цикла производства на предприятиях общественного питания используют очищенный картофель. Существенный интерес представляет изменение антиоксидантной активности и химического состава подобных полуфабрикатов картофеля в зависимости от варианта упаковки и времени хранения. Было установлено, что анализируемые образцы картофеля, выращенные на территории Самарской области Волжского района, действительно обладают антиоксидантной активностью. Понятие сортности анализируемого сырья оказывает влияние на такие показатели, как содержание фенолов, кислотность и массовая доля редуцирующих сахаров. Наибольшее содержание фенолов (до 15 мг/100 г в пересчете на галловую кислоту) наблюдалось у сортов картофеля Зекура и Ред Леди. Последний образец также показал высокий уровень содержания флавоноидов (23 мг/100 г в пересчете на катехин). Высокое значение восстанавливающей силы показал сорт Зекура (1.40 ммоль Fe²⁺/кг.). Из всех анализируемых объектов только для картофеля сорта Леони удалось определить антирадикальную активность. Усредненные партии очищенного картофеля были заложены на хранение в нескольких вариантах – с упаковкой и без нее. Контрольные точки выставлялись согласно срокам и видам хранения картофеля. Наблюдалось резкое снижение витамина С, начиная со вторых контрольных точек вариантов хранения.

Это можно объяснить его нестабильностью при влиянии факторов окружающей среды (кислород воздуха, свет, температура, длительное время хранения).

Ключевые слова: картофель, фенолы, флавоноиды, антиоксидантная активность, витамин С, редуцирующие сахара, сухие растворимые вещества, титруемая кислотность.

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из основных сельскохозяйственных культур универсального использования: его применяют не только в пищу, но и в технологических целях, а также на корм скоту. Известно около 5000 сортов картофеля, в связи с чем он считается наиболее генетически разнообразной культурой [1, 2]. Около 1.3 миллиардов человек на земле (при потреблении более 368 млн т за 2018 г.) отдают картофелю предпочтение после пшеницы, кукурузы и риса [3].

В клубнях картофеля содержится в среднем от 14 до 22% крахмала, 2–3% белка, 0.2–0.3% жира [4]. Кроме того, данная культура является источником витамина С и других веществ, обладающих антиоксидантной активностью. Их количество в большей степени определяется генетическими особенностями картофеля [5].

Алексашина Софья Анатольевна – ассистент кафедры технологии и организации общественного питания, e-mail: rector@samgtu.ru

Макарова Надежда Викторовна – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общественного питания, e-mail: rector@samgtu.ru

Антиоксиданты способны ингибировать процессы свободнорадикального окисления, происходящие под воздействием активных форм кислорода (АФК) [6, 7]. АФК и свободные радикалы

* Автор, с которым следует вести переписку.

участвуют во множестве метаболических процессов и способствуют возникновению патологий: некоторые виды рака, артрит, болезни Паркинсона, желудочно-кишечные заболевания [8, 9].

Исследования многих ученых доказали, что регулярное употребление в пищу именно природных антиоксидантов (источниками которых служат овощи, фрукты, травы, чай и т.д.) оказывает профилактическое действие от подобных заболеваний неинфекционной природы [10].

Все большей популярностью у потребителей пользуются удобные, готовые к приготовлению полуфабрикаты. Минимальные методы обработки, срок годности и параметры качества таких продуктов имеют большое значение для разработки инновационных методов их хранения.

На предприятиях общественного питания для сокращения технологического цикла производства используют очищенный картофель. Основным недостатком хранения такого полуфабриката является ферментативное потемнение. Полифенолоксидаза – фермент, катализирующий окисление фенольных субстратов молекулярным кислородом с образованием окрашенных высокорекреационных соединений, подвергающейся необратимой сополимеризации или реакции с другими фенолами, аминокислотами или белками с образованием коричневых пигментов [11]. Существует несколько методов увеличения сроков годности предварительно очищенного картофеля, наиболее популярным из которых является обработка сульфитом.

Целью настоящей работы являлось изучение антиоксидантной активности и химического состава сортов клубней картофеля, выращенных на территории Самарской области: в нативном виде, в очищенном виде при различных вариантах хранения. Также важным вопросом являлось доказательство или опровержение наличия взаимосвязи между сортностью образцов и определяемыми показателями.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны наиболее перспективные и востребованные сорта картофеля. Образцы были выращены при благоприятных для данной культуры погодных условиях на территории Самарской области Волжского района. Собраны клубни во второй половине августа сезона 2019 года. Для анализа использовались следующие сорта: Ароза, Зекура, Королева Анна, Лабелла, Леони, Наташа, Ред Леди, Розара (рис. 1).

Образцы очищенного картофеля были заложены на хранение, согласно рекомендациям предприятий общественного питания:

1. Хранение в воде при температуре +4 °С: 20, 40, 60 мин;
2. Хранение на воздухе с предварительным сульфитированием при температуре +4 °С: 16, 32, 48 ч;
3. Хранение в вакуумной упаковке при температуре +6 °С: 3, 6, 10 суток;
4. Хранение в вакуумной упаковке с предварительным сульфитированием при температуре +6 °С: 5, 10, 15 суток.

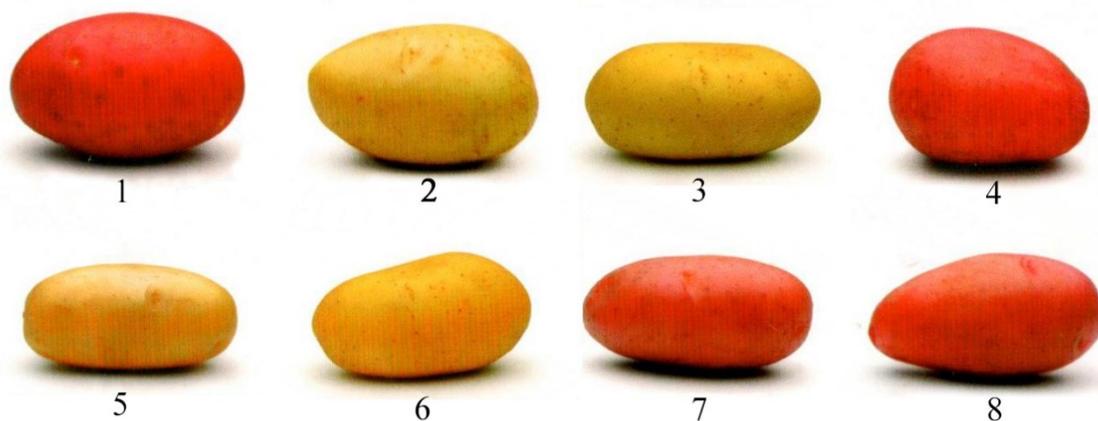


Рис. 1. Картофель сортовой: 1 – Ароза, 2 – Зекура, 3 – Королева Анна, 4 – Лабелла, 5 – Леони, 6 – Наташа, 7 – Ред Леди, 8 – Розара

Для определения содержания веществ-антиоксидантов из анализируемых объектов получали экстракты, при соотношении 1 : 10 сырье (клубни картофеля) – 50%-ный этанол. Анализ антиоксидантной активности образцов проводили спектрофотометрическим методом на приборе КФК в кювете толщиной слоя жидкости 10 мм. Повторность опытов трехкратная.

Метод определения содержания витамина С. Данный метод основан на экстрагировании витамина С раствором соляной кислоты с последующим визуальным титрованием раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия до установления светло-розовой окраски согласно ГОСТ 24556-89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С». Стандартная ошибка среднего для серии опытов составила 0.24.

Метод определения титруемой кислотности. Использовался метод потенциометрического титрования анализируемого раствора титрованным раствором гидроокиси натрия согласно ГОСТ ISO 750-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности». Стандартная ошибка среднего для серии опытов составила 0.02.

Метод определения содержания редуцирующих сахаров. Использовался фотоколориметрический метод, основанный на взаимодействии карбонильных групп сахаров в щелочной среде с железосинеродистым калием с последующим измерением оптической плотности полученного раствора на фотоэлектроколориметре, согласно ГОСТ 8756.13-87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров». Стандартная ошибка среднего для серии опытов составила 0.91.

Метод определения растворимых сухих веществ. Показатель преломления анализируемого раствора измеряли при температуре 20.0 ± 0.5 °C на рефрактометре, согласно ГОСТ ISO 2173-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ». Массовую долю растворимых сухих веществ определяли прямым считыванием массовой доли растворимых сухих веществ по шкале рефрактометра. Методы определения сахаров». Стандартная ошибка среднего для серии опытов составила 0.63.

Метод определения общего содержания фенольных веществ. Выбранный метод Folin-Ciocalteu достаточно прост и используется для определения общего количества полифенолов в биологических материалах. Определение фенольных соединений основано на восстановлении Mo^{6+} до Mo^{5+} , в результате которого анализируемый раствор приобретает синий цвет и может быть измерен оптически. Полученные значения выражены в мг/100 г исходного сырья в пересчете на галловую кислоту (мг GA/100 г). Общее количество полифенолов в образце обычно обозначается эквивалентом относительного содержания катехина или галловой кислоты, которые используются в качестве количественных стандартов [12, 13]. Стандартная ошибка среднего для серии опытов составила 0.72.

Метод определения общего содержания флавоноидов. Флавоноиды – наиболее обширный и изученный класс низкомолекулярных многоатомных фенолов растительного происхождения. Метод их определения основан на формировании флавоноид-алюминиевого комплекса. Суммарное содержание флавоноидов выражено в мг/100 г исходного сырья в пересчете на катехин (мг K/100 г) по калибровочной кривой [14]. Стандартная ошибка среднего для серии опытов составила 3.27.

DPPH-метод (метод определения антиоксидантной активности по гашению свободных радикалов с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила). DPPH-метод основан на реакции стабильного синтетического радикала DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразила), растворенного в этаноле, с образцом антиоксиданта, предположительно содержащегося в экстракте [15]. При восстановлении свободного радикала DPPH веществами-антиоксидантами в исследуемых экстрактах постепенно снижается насыщенно-синяя окраска DPPH на желтую: происходит переход свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (имеет насыщенно-синюю окраску) в стабильную молекулу 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (имеет желтую окраску). Определение свободных радикалов 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила проводили при длине волны 517 нм.

FRAP-метод (определение железовосстанавливающей антиоксидантной способности образцов). FRAP-метод основан на определении железовосстанавливающей антиоксидантной способности экстрактов из анализируемых образцов сырья. Определение железовосстанавливающей силы выражали в ммоль Fe^{2+} /1 кг исходного сырья [16]. Стандартная ошибка среднего для серии опытов составила 0.07.

Результаты и их обсуждение

Оценка химического состава и антиоксидантной активности сортов клубней картофеля. Изучалось варьирование таких важных технологических параметров, как массовая доля аскорбиновой кислоты (витамина С), титруемая кислотность, содержание редуцирующих сахаров и содержание растворимых сухих веществ. Результаты исследования были сведены в таблицу 1.

Известно, что аскорбиновая кислота (АК) отвечает критериям первичного антиоксиданта: имеет невысокий восстановительный потенциал, а возникающий при ее окислении свободный радикал обладает низкой реактивностью [17]. В работе было установлено, что картофель сорта Ароза содержал наибольшее количество анализируемого показателя (11.12 мг%). Изучаемые сорта показали накопление витамина С в пределах от 9.15 до 11.12 мг% – различия незначительны и составили в среднем 2 единицы.

Основная причина неферментативного потемнения картофеля при термической обработке – взаимодействие содержащихся в нем редуцирующих сахаров и аминокислот. Диапазон полученных значений определения редуцирующих сахаров распространяется от 2.3 до 9.4%, что соответствует литературным данным [18]. Такие сорта, как Ред Леди (2.3%), Леони (2.3%), Ароза (3.0%) и Наташа (3.0%) можно рекомендовать для производства снеков (чипсы, картофель фри, палочки и т.д.), так как при их производстве выбирают сырье, обладающее минимальным содержанием редуцирующих сахаров.

К растворимым сухим веществам (РСВ) относят углеводы, азотистые вещества, кислоты, вещества фенольной природы, растворимые формы пектинов и витаминов, ферменты, минеральные соли и т.д. Содержание РСВ в плодово-ягодном и овощном сырье в среднем находится в пределах от 5 до 18% [17]. Максимальное содержание растворимых сухих веществ у образцов картофеля наблюдалось у сортов Ароза и Зекура – 10.16 и 10.00% соответственно (табл. 1).

Под фенольными соединениями подразумевают вещества, которые в своих молекулах содержат одно или несколько ароматических (бензольных) колец, несущих одну или более гидроксильных групп. Образование подобных соединений характерно только для растительных клеток, которые способны синтезировать десятки тысяч подобных соединений. Антиоксидантная активность фенолов основана на их способности отдавать электрон и протон и переходить в форму относительно стабильного феноксильного радикала, способного делокализовать неспаренный электрон [18].

Анализ полученных экспериментальных данных (табл. 2) свидетельствует о том, что содержание фенольных веществ в выбранном сортовом картофеле меняется в пределах от 11 до 15 мг (GAE) на 100 г исходного сырья. Наибольшее накопление фенолов (15 мг (GAE)/100 г ИС) зафиксировано у сортов картофеля Зекура и Ред Леди.

Наиболее изученной группой фенольных соединений являются флавоноиды – производные флавана. Всего насчитывается свыше 6 тысяч подобных соединений. В структуре флавана различают три циклические составляющие: бензольные кольца и гетероцикл, в который помимо углерода входит кислород. Флавоноиды также синтезируются растениями.

Среди изучаемых образцов наблюдалось значительное (свыше десяти единиц) расхождение результатов в зависимости от сортности. При этом лидирующую позицию занимают сорта Леони и Ред Леди – 31 и 23 мг/100 г исходного сырья соответственно. Минимальное накопление флавоноидов наблюдалось у сортов Королева Анна, Ароза, Наташа, Лабелла, Розара (6, 7, 7, 8, 9 мг /100 г ИС соответственно).

Одним из основных методов исследования антиоксидантной активности является тест DPPH, в котором используют стабильный радикал 1,1-дифенил-2-пикрилгидразил. Свободный радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил применяют для анализа способности исследуемых образцов в значительной степени приостанавливать цепные реакции радикального окисления [19]. Концентрация экстракта антиоксиданта, при которой наблюдается 50%-ное ингибирование радикалов DPPH, обозначают как E_{C50} [15]. Положительный результат по улавливанию свободных радикалов зафиксирован только у образца картофеля сорта Леони ($E_{C50}=228$ мг/мл) (табл. 2).

Антиоксидантная активность объектов исследования оценивалась с помощью метода FRAP (ferric reducing antioxidant power). При работе с FRAP тестом измеряется способность антиоксиданта восстанавливать в кислой среде комплекс трехвалентного железа с трипиридил-*s*-триазином $Fe(TPTZ)^{3+}$ до двухвалентного комплекса $Fe(TPTZ)^{2+}$, имеющего интенсивный синий цвет, с максимумом поглощения при длине волны 593 нм. Анализ результатов проведения FRAP теста показал, что полученные значения для всех сортов картофеля близки к единице. Лидирующую позицию занимает сорт Зекура (1.40 ммоль Fe^{2+} /1 кг ИС).

Таблица 1. Результаты определения химического состава сортового картофеля

Наименование объекта	Определяемый показатель			
	Витамин С, мг%	Кислотность, в пересчете на лимонную кислоту, %	Редуцирующие сахара, %	Растворимые сухие вещества, %
Ароза	11.12	0.2	3.0	10.16
Зекура	11.00	0.3	5.0	10.00
Королева Анна	10.20	0.2	9.4	9.70
Лабелла	10.98	0.2	6.0	9.00
Леони	9.87	0.1	2.3	8.10
Наташа	10.00	0.2	3.0	9.30
Ред Лели	10.16	0.2	2.3	5.00
Розара	9.15	0.2	7.0	6.90

Таблица 2. Содержание фенольных веществ, флавоноидов, результаты проведения тестов DPPH и FRAP на показатели антиоксидантной активности в анализируемом сырье

Наименование объекта	Определяемый показатель			
	ФВ, мг (GAE)/100 г	Фл, мг К/100 г	DPPH, E _{C50} , мг/мл	FRAP, ммоль Fe ²⁺ /1 кг
Ароза	11	7	Не обнар.	0.86
Зекура	15	10	Не обнар.	1.40
Королева Анна	10	6	Не обнар.	0.77
Лабелла	11	8	Не обнар.	0.95
Леони	11	31	228	0.91
Наташа	11	7	Не обнар.	0.81
Ред Леди	15	23	Не обнар.	0.92
Розара	14	9	Не обнар.	0.99

Проведенный анализ (табл. 1 и 2) показал, что химический состав и антиоксидантная активность картофеля несколько ниже, чем аналогичные показатели плодов, ягод и трав [20–24]. Однако представленная культура является более популярным продуктом питания среди населения. При этом россияне в год используют в пищу примерно на 25% больше указанной Минздравом нормы его потребления [3]. Полученные результаты могут рекомендовать картофель как стабильный источник поступления веществ, обладающих антиоксидантной активностью в организм человека.

Оценка химического состава и антиоксидантной активности очищенных клубней картофеля в зависимости от вариантов хранения. Образцы очищенного картофеля были заложены на хранение, согласно существующим нормам предприятий общественного питания. Время и условия осуществления эксперимента приведены в таблице 3. Сульфитирование картофеля осуществляли выдерживанием в течение 5 мин в 1% растворе бисульфита натрия.

Результаты определения изменения химического состава очищенного картофеля при хранении в воде представлены на рисунке 2. Отмечено стабильное незначительное снижение определяемых показателей в зависимости от времени хранения. В наибольшей степени наблюдалось снижение содержания витамина С на 11% при варьировании показателей от 9 до 8 мг%. Следует отметить, что витамин С – один из наиболее нестойких: его содержание резко сокращается при доступе кислорода воздуха, в процессе хранения, при воздействии высоких или низких температур.

С целью увеличения сроков хранения очищенного картофеля на предприятиях пищевой промышленности его подвергают вакуумной упаковке. Вакуумные упаковщики используются вместе со специальными пакетами, безопасными для здоровья человека. Результаты определения изменения химического состава очищенного картофеля при хранении в вакуумной упаковке представлены на рисунке 3. По истечении времени хранения было зафиксировано незначительное потемнение клубней (менее 1%).

По результатам исследований значительные изменения наблюдались у таких показателей, как содержание растворимых сухих веществ и витамина С. Как было отмечено выше, время хранения – один из ключевых факторов, влияющих на распад аскорбиновой кислоты. По истечении 10 сут. гарантированного хранения очищенного картофеля в вакуумной упаковке было потеряно около 30% витамина С.

Сульфиты в различных формах (диоксид серы, бисульфит натрия (калия), сульфит натрия) добавляют в пищевые продукты для предотвращения окисления, ферментативного потемнения. Бисульфит натрия (калия) накапливается в организме как канцероген. При этом он запрещен в детском возрасте. Перед использованием продуктов, обработанных сульфитами, их следует тщательно промывать в проточной воде.

Таблица 3. Условия проведения эксперимента по определению изменения химического состава и антиоксидантной активности очищенного картофеля

Вариант хранения	Контрольные точки	Температура хранения, °С
Вода	20, 40, 60 мин	+4
Сульфитированный картофель	16, 32, 48 ч	+4
Вакуумная упаковка	3, 6, 10 суток	+6
Вакуумная упаковка с предварительным сульфитированием	5, 10, 15 суток	+6

На рисунке 4 представлены результаты исследования хранения сульфитированного картофеля в течение 48 ч. Было отмечено незначительное изменение содержания редуцирующих сахаров и титруемой кислотности. Резкий распад витамина С наблюдался после 32 ч хранения. Потемнения поверхности клубней по истечении времени хранения не наблюдалось. Полученные результаты согласуются со сведениями из литературных источников [25, 26].

В некоторых случаях сульфитированный картофель упаковывают в вакуумную упаковку. Результаты определения изменения химического состава очищенного картофеля при хранении в вакууме с предварительным сульфитированием представлены на рисунке 5.

Содержание витамина С в исследуемых клубнях варьировалось от 5,1 до 3,5 мг%, что является лучшим результатом по сравнению с образцами, хранившимися в вакуумной упаковке без сульфитирования.

Результаты исследования содержания редуцирующих сахаров в образцах колеблются от 1 до 1,5%. Основные направления химических процессов при хранении крахмалсодержащего сырья – это гидролитический распад сложных органических соединений до более простых. При хранении овощей в условиях недостаточного количества кислорода или его отсутствии в тканях может наступить процесс бескислородного (анаэробного) дыхания. Крахмал подвергается гидролизу и переходит в сахарозу, распадающуюся до глюкозы и фруктозы. Потемнения поверхности клубней по истечении времени хранения не наблюдалось.

Изменение содержания веществ-антиоксидантов в очищенном картофеле в зависимости от варианта хранения сведены в диаграммы (рис. 6–9).

Полифенольные вещества в период хранения также частично используются на дыхание, взаимодействуя с белковыми веществами: наблюдалось снижение анализируемых показателей при любых вариантах хранения очищенного картофеля.

Наименьшее содержание фенольных веществ было отмечено у образцов, хранившихся в воде (в среднем 18 мг/100 г) и в вакуумной упаковке с предварительным сульфитированием (в среднем 14 мг/100 г). При хранении клубней в воде после 40 минут было потеряно до 50% флавоноидов, что может быть связано с их частичным переходом в водную среду.

Резкое снижение фенольных веществ (68%) наблюдалось у образцов, хранившихся в вакуумной упаковке после 6 суток хранения.

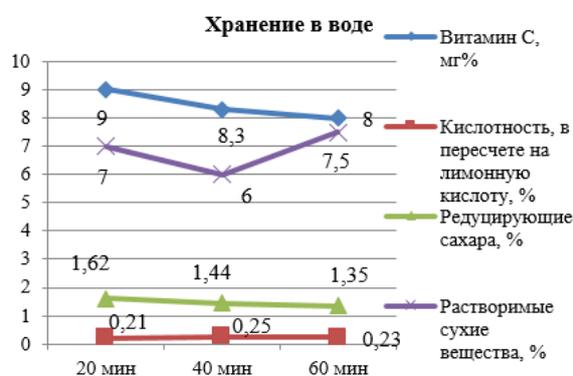


Рис. 2. Изменение химического состава очищенного картофеля (хранение в воде) в зависимости от времени хранения



Рис. 3. Изменение химического состава очищенного картофеля (хранение в вакуумной упаковке) в зависимости от времени хранения

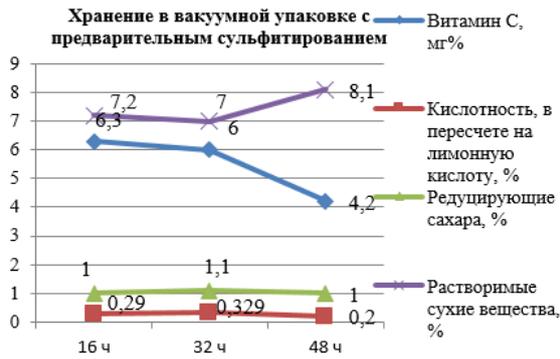


Рис. 4. Изменение химического состава очищенного картофеля (хранение на воздухе с предварительным сульфитированием) в зависимости от времени хранения

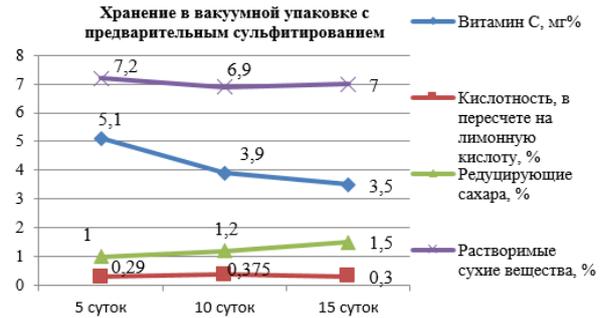


Рис. 5. Изменение химического состава очищенного картофеля (хранение в вакуумной упаковке с предварительным сульфитированием) в зависимости от времени хранения

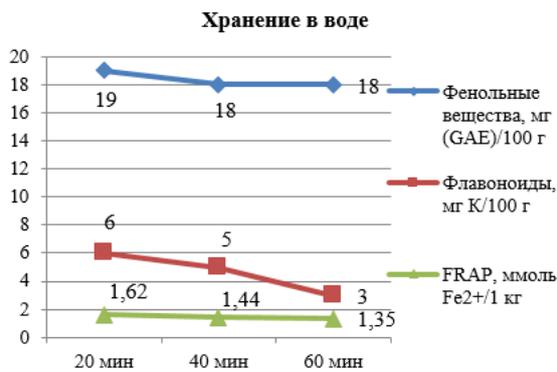


Рис. 6. Изменение содержания веществ-антиоксидантов очищенного картофеля (хранение в воде) в зависимости от времени хранения

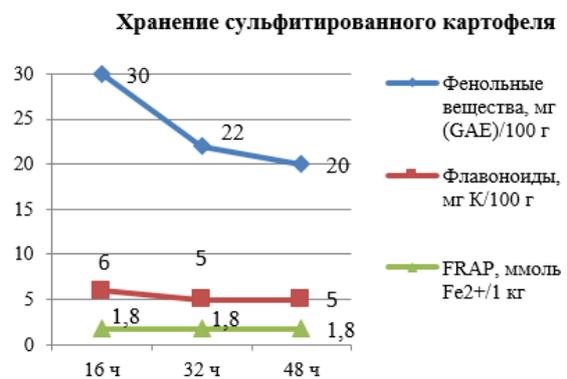


Рис. 7. Изменение содержания веществ-антиоксидантов очищенного картофеля (хранение на воздухе с сульфитированием) в зависимости от времени хранения

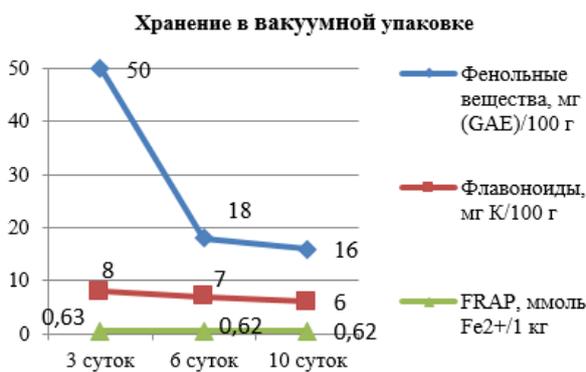


Рис. 8. Изменение содержания веществ-антиоксидантов очищенного картофеля (хранение в вакуумной упаковке) в зависимости от времени хранения

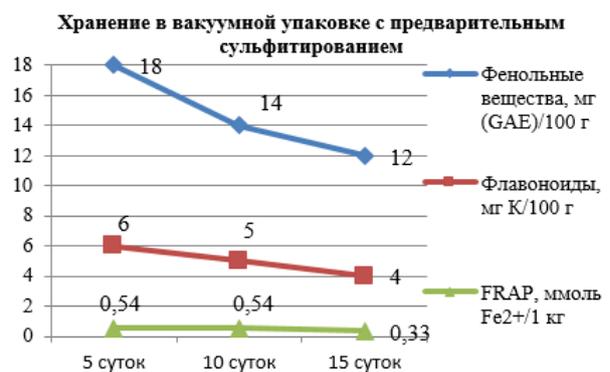


Рис. 9. Изменение содержания веществ-антиоксидантов очищенного картофеля (хранение в вакуумной упаковке с предварительным сульфитированием) в зависимости от времени хранения

Выводы

1. Представленные образцы сортового картофеля, выращенные на территории Самарской области, действительно обладают антиоксидантной активностью.
2. Наибольшее накопление фенолов (15 мг (GAE)/100 г ИС) наблюдалось у сортов картофеля Зекура и Ред Леди. Последний образец также показал высокое накопление флавоноидов (23 мг К/100 г ИС).
3. Наибольший показатель восстанавливающей силы показал картофель сорта Зекура (1.40 ммоль Fe^{2+} /1 кг ИС).
4. Положительный результат теста на антирадикальную активность наблюдался у сорта Леони (228 мг/см³).
5. Лидирующую позицию по содержанию витамина С занимает картофель сорта Ароза (11.12 мг%).
6. Картофель сортов Ред Леди (2.3%), Леони (2.3%), Ароза (3.0%) и Наташа (3.0%) можно рекомендовать для производства снековой продукции в связи с низким содержанием редуцирующих сахаров, что значительно уменьшает риски потемнения сырья в процессе обработки.
7. Установлено, что при любых вариантах хранения картофеля содержание витамина С резко сокращается, что можно объяснить его нестабильностью при воздействии факторов окружающей среды.
8. Данные по антиоксидантной активности очищенного картофеля в процессе хранения показали, что наибольшему разрушению подвергнутся фенольные вещества, в том числе и флавоноиды.
9. Понятие сортности анализируемого сырья оказывает влияние на такие показатели, как содержание редуцирующих сахаров, растворимых сухих веществ, фенольных веществ.

Список литературы

1. Басиев С.С., Бекузарова С.А., Болиева З.А., Чшиева М.Ч. История культуры картофеля // Вестник Владикавказского научного центра. 2017. №1. С. 39–45.
2. Petropoulos S.A., Sampaio S.L., Gioia F.D., Tzortzakis N., Rouphael Y., Kyriacou M.C. Grown to be blue – antioxidant properties and health effects of colored vegetables // Antioxidants. 2019. Vol. 8. Pp. 1–26. DOI: 10.3390/antiox9020097.
3. Sampaio S.L., Petropoulos S.A., Alexopoulos A., Heleno S.A., Santos-Buelga S., Barros L., Ferreira I.C.F.R. Potato peels as sources of functional compounds for the food industry: A review // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 103. Pp. 118–129.
4. Лукин Н.Д., Дегтярев В.А., Плотников А.А., Соколова М.Л., Голионко Е.О. Состояние и перспективы развития переработки картофеля на крахмал // Пищевая промышленность. 2018. №12. С. 21–22.
5. Гумеров Т.Ю., Решетник О.А. Оценка качества различных сортов картофеля при их кулинарной обработке // Вестник Казанского технологического университета. 2011. С. 178–182.
6. Варданян Л.Р., Атабекян Л.В., Айрапетян С.А., Варданян Р.Л. Антиоксидантная активность этилацетатного экстракта разных видов тысячелистника *Achillea L.* // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 61–68.
7. Pisoschi A.M., Negulescu G.P. Methods for total antioxidant activity determination: a review // Biochemistry and Analytical Biochemistry. 2011. Vol. 1. Pp. 52–63. DOI: 10.4172/2161-1009.1000106.
8. Rodríguez-Arce R., Saldías M. Antioxidant properties of flavonoid metal complexes and their potential inclusion in the development of novel strategies for the treatment against neurodegenerative diseases // Biomedicine & Pharmacotherapy. 2021. Vol. 143. Pp. 112–236. DOI: 10.1016/j.biopha.2021.112236.
9. Зыкова М.В., Логвинова Л.А., Кривошеков С.В., Воронова О.А., Ласукова Т.В., Братишко К.А., Жолобова Г.А., Голубина О.А., Передерина И.А., Дрыгунова Л.А., Тверякова Е.Н., Белоусов М.В. Антиоксидантная активность высокомолекулярных соединений гуминовой воды // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 239–250. DOI: 10.14258/jcprm.2018033925.
10. Ahmad S., Arshad M.A., Ijaz S., Khurshid U., Rashid F., Azam R. Review on methods used to determine antioxidant activity // International Journal of Multidisciplinary Research and Development. 2014. Vol. 1. Pp. 41–44. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03162.
11. Ali H.M., El-Gizawy A.M., El-Bassiouny R.E.I., Saleh M.A. The role of various amino acids in enzymatic browning process in potato tubers, and identifying the browning products // Food Chemistry. 2016. Vol. 192. Pp. 879–885. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.100.
12. Augusto T.R., Scheuermann Salinas E.S., Alencar S.M., D'arce M.B., Costa de Camargo A., Vieira T.S. Phenolic compounds and antioxidant activity of hydroalcoholic extracts of wild and cultivated murtila (*Ugni molinae* Turcz) // Food Science and Technology. 2014. Vol. 34. N4. Pp. 667–673. DOI: 10.1590/1678-457X.6393.
13. Chen L-Y., Cheng C-W., Liang J-Y. Effect of esterification condensation on the Folin-Ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols // Food Chemistry. 2015. Vol. 170. Pp. 10–15. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.038.

14. Settharakas S., Jongjareonrak A., Hmadhlu P., Chansuwan W., Siripongvutikorn S. Flavonoid, phenolic contents and antioxidant properties of Thai hot curry paste extract and its ingredients as affected of pH, solvent types and high temperature // *International Food Research Journal*. 2012. Vol. 19. N4. Pp. 1581–1587.
15. Afshar F.H., Delazar A., Nazemiyeh H., Esnaashari S., Moghadam S.B. Comparison of the Total Phenol, Flavonoid Contents and Antioxidant Activity of Methanolic of *Artemisia spicigera* and *A. splendens* Growing in Iran // *Pharmaceutical sciences*. 2012. Vol. 18. N3. Pp. 165–170.
16. Mussatto S.I., Ballesteros L.F., Martins S., Teixeira J.A. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds // *Separation and Purification Technology*. 2011. Vol. 83. Pp. 173–179. DOI: 10.1016/j.seppur.2011.09.036.
17. Шарова Е.И. Антиоксиданты растений: учеб. пособие. СПб., 2016. 140 с.
18. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник. М., 2002. 236 с.
19. Макарова Н.В., Зюзина А.В. Исследование антиоксидантной активности по методу dpph полуфабрикатов производства соков // *Техника и технология пищевых производств*. 2011. №3. С. 1–3.
20. Алексашина С.А., Макарова Н.В., Соболев Г.И. Жимолость съедобная как перспективный интродуцент Самарской области // *Известия высших учебных заведений. Пищевая промышленность*. 2017. №4. С. 18–20.
21. Алексашина С.А., Быкова Т.О., Макарова Н.В., Демидова А.В., Деменина Л.Г. Сравнительный анализ химического состава плодов вишни и черешни различных сортов, выращенных в Самарской области // *Известия высших учебных заведений. Пищевая промышленность*. 2017. №1. С. 32–35.
22. Алексашина С.А., Макарова Н.В., Деменина Л.Г. Ягоды и косточковые плоды Самарского региона урожая 2016 года из коллекции НИИ «Жигулевские сады», как перспективное сырье в пищевой промышленности // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. №2. С. 229–235.
23. Алексашина С.А., Макарова Н.В., Деменина Л.Г. Антиоксидантный потенциал плодов шиповника // *Вопросы питания*. 2019. Т. 88. №3. С. 92–97.
24. Алексашина С.А., Макарова Н.В. Сравнительное изучение антиоксидантной активности, фенольных соединений и флавоноидов цветков липы сердцевидной (*Tilia cordata Mill.*), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis L.*), донника лекарственного (*Melilotus officinalis L.*), листьев смородины (*Ribes nigrum folia*), земляники лесной (*Fragaria vesca L.*), винограда (*Vitis labrusca*), произрастающих в Самарском регионе // *Химия растительного сырья*. 2019. №3. С. 153–159. DOI: 10.14258/jcprpm.2019034623.
25. Bureau S., Mouhoubi S., Touloumet L., Garcia C., Moreau F., Bedouet V., Renard C.M.G.C. Are folates, carotenoids and vitamin C affected by cooking Four domestic procedures are compared on a large diversity of frozen vegetables // *Food Science and Technology*. 2015. Vol. 64. Pp. 735–741.
26. Каталова Е.А., Пензина Т.Н. Источники витамина С // *SCIENTIST*. 2018. №1. С. 16–18.

Поступила в редакцию 31 августа 2021 г.

После переработки 27 декабря 2021 г.

Принята к публикации 13 января 2022 г.

Для цитирования: Алексашина С.А., Макарова Н.В. Сравнительное изучение химического состава и антиоксидантной активности клубней сортового картофеля // *Химия растительного сырья*. 2022. №2. С. 221–231. DOI: 10.14258/jcprpm.20220210129.

*Aleksashina S.A.**, *Makarova N.V.* COMPARATIVE STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT POTENTIAL OF GRADE POTATO TUBERS

Samara State Technical University, ul. Molodogvardeiskaya, 244, Samara, 443100 (Russia), e-mail: rector@samgtu.ru

One of the problems of modern society is the increasing detrimental effect of reactive oxygen species (ROS) on the cellular structure of the human body - the so-called oxidative stress. Potatoes are eaten almost everywhere and can become a stable and cheap source of natural antioxidants in the human body, thereby providing a preventive effect against chronic non-infectious diseases (oncology, diabetes mellitus, diseases of the cardiovascular system). To reduce the technological cycle of production at public catering enterprises, peeled potatoes are used. Of significant interest is the change in the antioxidant activity and chemical composition of such semi-finished potatoes, depending on the packaging option and storage time. It was found that the analyzed potato samples grown on the territory of the Samara region of the Volzhsky district really have antioxidant activity. The concept of the grade of the analyzed raw material affects such indicators as the content of phenols, acidity and mass fraction of reducing sugars. The highest accumulation of phenol content (up to 15 mg (GAE) / 100 g IP) was observed in the potato varieties Zekura and Red Lady. The last sample also showed a high level of flavonoid content (23 mg K / 100 g IP). A high value of the restoring force was shown by the variety Zekura (1.40 mM Fe²⁺ / 1 kg IS). Of all the analyzed objects, it was possible to determine the antiradical activity only for potatoes of the Leoni variety. Average batches of peeled potatoes were stored in several versions – with and without packaging.

Control points were set according to the terms and types of storage of potatoes. There was a sharp decline in vitamin C starting from the second storage options checkpoints. This can be explained by its instability under the influence of environmental factors (air oxygen, light, temperature, long storage time).

Keywords: potato, variety, phenols, flavonoids, antioxidant activity, vitamin C, reducing sugars, dry soluble substances, titratable acidity.

References

1. Basiyev S.S., Bekuzarova S.A., Boliyeva Z.A., Chshiyeva M.Ch. *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo tsentra*, 2017, no. 1, pp. 39–45. (in Russ.).
2. Petropoulos S.A., Sampaio S.L., Gioia F.D., Tzortzakis N., Rouphael Y., Kyriacou M.C. *Antioxidants*, 2019, vol. 8, pp. 1–26. DOI: 10.3390/antiox9020097.
3. Sampaio S.L., Petropoulos S.A., Alexopoulos A., Heleno S.A., Santos-Buelga S., Barros L., Ferreira I.C.F.R. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 103, pp. 118–129.
4. Lukin N.D., Degtyarev V.A., Plotnikov A.A., Sokolova M.L.; Golionko Ye.O. *Pishcheyaya promyshlennost'*, 2018, no. 12, pp. 21–22. (in Russ.).
5. Gumerov T.Yu., Reshetnik O.A. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, pp. 178–182. (in Russ.).
6. Vardanyan L.R., Atabekyan L.V., Ayrapetyan S.A., Vardanyan R.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 61–68. (in Russ.).
7. Pisoschi A.M., Negulescu G.P. *Biochemistry and Analytical Biochemistry*, 2011, vol. 1, pp. 52–63. DOI: 10.4172/2161-1009.1000106.
8. Rodríguez-Arce R., Saldías M. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2021, vol. 143, pp. 112–236. DOI: 10.1016/j.biopha.2021.112236.
9. Zykova M.V., Logvinova L.A., Krivoshchekov S.V., Voronova O.A., Lasukova T.V., Bratishko K.A., Zholobova G.A., Golubina O.A., Perederina I.A., Drygunova L.A., Tveryakova Ye.N., Belousov M.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 239–250. DOI: 10.14258/jcprm.2018033925. (in Russ.).
10. Ahmad S., Arshad M.A., Ijaz S., Khurshid U., Rashid F., Azam R. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 2014, vol. 1, pp. 41–44. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03162.
11. Ali H.M., El-Gizawy A.M., El-Bassiouny R.E.I., Saleh M.A. *Food Chemistry*, 2016, vol. 192, pp. 879–885. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.07.100.
12. Augusto T.R., Scheuermann Salinas E.S., Alencar S.M., D'arce M.B., Costa de Camargo A., Vieira T.S. *Food Science and Technology*, 2014, vol. 34, no. 4, pp. 667–673. DOI: 10.1590/1678-457X.6393.
13. Chen L-Y., Cheng C-W., Liang J-Y. *Food Chemistry*, 2015, vol. 170, pp. 10–15. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.038.
14. Settharaksa S., Jongjareonrak A., Hmadhlu P., Chansuwan W., Siripongvutikorn S. *International Food Research Journal*, 2012, vol. 19, no. 4, pp. 1581–1587.
15. Afshar F.H., Delazar A., Nazemiyeh H., Esnaashari S., Moghadam S.B. *Pharmaceutical sciences*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 165–170.
16. Mussatto S.I., Ballesteros L.F., Martins S., Teixeira J.A. *Separation and Purification Technology*, 2011, vol. 83, pp. 173–179. DOI: 10.1016/j.seppur.2011.09.036.
17. Sharova Ye.I. *Antioksidanty rasteniy: ucheb. posobiye*. [Plant antioxidants: textbook. allowance]. St. Petersburg, 2016, 140 p. (in Russ.).
18. Skurikhin I.M., Tutel'yan V.A. *Khimicheskii sostav Rossiyskikh pishchevykh produktov. Spravochnik*. [Chemical composition of Russian food products. Directory]. Moscow, 2002, 236 p. (in Russ.).
19. Makarova N.V., Zyuzina A.V. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2011, no. 3, pp. 1–3. (in Russ.).

* Corresponding author.

20. Aleksashina S.A., Makarova N.V., Sobolev G.I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya promyshlennost'*, 2017, no. 4, pp. 18–20. (in Russ.).
21. Aleksashina S.A., Bykova T.O., Makarova N.V., Demidova A.V., Demenina L.G. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya promyshlennost'*, 2017, no. 1, pp. 32–35. (in Russ.).
22. Aleksashina S.A., Makarova N.V., Demenina L.G. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2018, no. 2, pp. 229–235. (in Russ.).
23. Aleksashina S.A., Makarova N.V., Demenina L.G. *Voprosy pitaniya*, 2019, vol. 88, no. 3, pp. 92–97. (in Russ.).
24. Aleksashina S.A., Makarova N.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 153–159. DOI: 10.14258/jcprm.2019034623. (in Russ.).
25. Bureau S., Mouhoubi S., Touloumet L., Garcia C., Moreau F., Bedouet V., Renard C.M.G.C. *Food Science and Technology*, 2015, vol. 64, pp. 735–741.
26. Katalova E.A., Penzina T.N. *SCIENTIST*, 2018, no. 1, pp. 16–18. (in Russ.).

Received August 31, 2021

Revised December 27, 2021

Accepted January 13, 2022

For citing: Aleksashina S.A., Makarova N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 221–231. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220210129.

