УДК 664.8.047

DOI 10.30679/2219-5335-2021-4-70-269-296

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ДЕГИДРАТАЦИИ ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СУХОФРУКТОВ

Мачнева Ирина Александровна
канд. с.-х. наук
старший научный сотрудник

Дрофичева Наталья Васильевна
канд. техн. наук
старший научный сотрудник
лаборатории хранения
и переработки плодов и ягод

Причко Татьяна Григорьевна
д-р с.-х. наук, профессор
зав. лабораторией хранения
и переработки плодов и ягод
e-mail: prichko@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

Сушка плодово-ягодного сырья – это сложный процесс обезвоживания (дегидратации) плодовой массы посредством механизмов тепломассопереноса. Плоды и ягоды содержат много воды, поэтому для получения качественного конечного продукта сушки важно понимание течения процесса дегидратации. Данная статья основана на обзоре Результатов исследований последних лет, направленных на совершенствование технологии сушки, которые бы обеспечивали максимальную сохранность пищевых и вкусовых достоинств продукта, а также высокую эффективность процесса. Плоды и ягоды являются бенифициаром

UDC 664.8.047

DOI 10.30679/2219-5335-2021-4-70-269-296

SCIENTIFIC RATIONALE OF APPLICATIONS OF METHODS DEHYDRATION OF FRUIT-BERRY RAW MATERIALS AT PRODUCTION OF DRIED FRUITS

Machneva Irina Aleksandrovna
Cand. Agr. Sci.
Senior Research Associate

Droficheva Natalia Vasilievna
Cand. Tech. Sci.
Senior Research Associate
of Laboratory of Storage and Processing
of Fruits and Berries

Prichko Tatyana Grigorievna
Dr. Sci. Agr., Professor
Head of Laboratory of Storage
and Processing of Fruits and Berries
e-mail: prichko@yandex.ru

Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making», Krasnodar, Russia

Drying of fruit and berry raw Materials is a complex process of drying up (dehydration) of the fruit mass through the mechanisms of heat-processing. Fruits and berries contain a lot of water, so it is important to understand the course of dehydration in order to obtain a quality final drying product. This article is based on a review of the results of research in recent years aimed at improving the drying technology, which would ensure maximum safety of food and taste advantages of the product, as well as high efficiency of the process. Fruits and berries are a beneficiary of biologically active

биологически активных веществ. Представлены результаты исследований по применению различных методов сушки в зависимости от вида плодово-ягодного сырья: сочных цитрусов, киви, манго, инжира; плотномясых яблок, сливы, тыквы, кожуры цитрусовых; мелкоплодных ягод. Готовые к употреблению сухофрукты должны иметь высокие показатели качества, близкие к нативным. В работе отражены способы оптимизации режимов сушки, максимально сохраняющих химико-технологические показатели качества продукта, и в то же время минимизирующих затраты тепла и энергии. Отмечено, что для современных способов сушки характерна интенсификация процессов тепло- и массообмена, которая достигается различными путями: увеличением поверхности контакта между высушиваемым продуктом и сушильным агентом; снижением относительной влажности сушильного агента; повышением скорости перемещения высушиваемого материала и сушильного агента. Научно обосновано использование комбинированных методов сушки. Подробно рассмотрен процесс Осмотической дегидратации – основного этапа получения цукатов. Приведены результаты применения осмотической дегидратации в сочетании с обработкой плодовой массы электрическим током, ультразвуком. Уделено внимание способам повышения функциональных свойств сухфруктов.

Ключевые слова: ПЛОДОВО-ЯГОДНОЕ СЫРЬЕ, ДЕГИДРАТАЦИЯ, МАССООБМЕН, ОСМОС, СУХОФРУКТЫ

substances. The results of studies on the application of different methods of drying depending on the type of fruit and berry raw materials are presented: rich citrus, kiwi, mango, fig; dense-skinned apples, plums, pumpkins, citrus peels; small berries. Ready-to-eat dried fruits should have high quality indicators, close to native. In the work are reflected the ways to optimize the drying modes that preserve the chemical and technological indicators of the product quality as much as possible, and at the same time minimizing the costs of heat and energy. It is noted that modern methods of drying are characterized by the intensification of the process of the heat- and mass exchange, which is achieved in various ways: increasing the contact surface between the dried product and the drying agent; reducing the relative humidity of the drying agent; increasing the speed of movement of the dried material and the drying agent. The use of combined drying methods is scientifically established. The process of osmotic dehydration – the main stage of obtaining candied fruit – is considered in detail. The results of the application of osmotic dehydration in combination with the treatment of fruit mass with electric shocks and ultrasound are presented. Attention is paid to ways to improve the functional properties of dried fruits.

Key words: FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS, DEHYDRATION, MASS TRANSFER, OSMOSIS, DRIED FRUITS

Введение. В 21 веке – веке борьбы за удовлетворение спроса на продовольствие существует проблема обеспечения населения планеты, а это 7,6 миллиарда человек, достаточным количеством пищевой продукции [1]. Сохранение ценных природных качеств сельскохозяйственной продукции, увеличение длительности хранения пищевых продуктов является цен-

тральной задачей пищевой инженерии. Решение кроется в совершенствовании и внедрении в производство методов и технологий максимально комплексной переработки и консервации получаемого сырья. Основные методы консервирования пищевых продуктов можно подразделить на три вида действий:

- ингибирование химического разрушения и микробного роста;
- инактивация бактерий, дрожжей, плесени, ферментов;
- предотвращение повторного загрязнения до и после обработки [2].

Традиционные методы консервации продуктов, такие как ферментация, обезвоживание и засолка, практиковались с незапамятных времен. Плоды и ягоды являются биологически ценным и одновременно технологичным сырьем. С биологической точки зрения плоды представляют собой разросшийся околоплодник, выполняющий защитную функцию семени [3]. Накапливающиеся в околоплоднике запасные питательные и в то же время биологически активные вещества, такие как витамины, органические кислоты, сахара, белки, различные ароматические и жироподобные вещества, находятся в растворенном в определенном количестве клеточного сока состоянии. Процесс обезвоживания (дегидратации) или сушки, как наиболее эффективный вид консервации плодово-ягодного сырья, – это процесс удаления влаги под действием тепла, подавляющий активность воды в свежем сырье. Для получения качественного конечного продукта важно понимание течения процесса дегидратации [2].

Обсуждение. Преимущество использования сушки для консервирования пищевых продуктов заключается не только в том, что она технически удобна, но и в том, что затраты, связанные с обработкой, упаковкой, транспортировкой и хранением сушеных продуктов, меньше, чем консервированных и замороженных [2].

При анализе ассортимента мирового рынка сухофруктов, отмечено, что наиболее распространенным является *изюм*. Основными странами-производителями его являются Турция, Иран, Китай, Афганистан, США (Калифорния), Чили, Южная Африка, Австралия. Востребованными являются сухофрукты из абрикоса, прежде всего – *курага*, главными импортерами которой являются Турция и Китай. Основным производителем *чернослива* является Чили. Сухофрукты из мякоти *ананаса* в промышленных масштабах производтся в Таиланде. Набирает обороты производство *банановых чипсов.* Производится данное лакомство в основном на Филиппинах. Мировым лидером по производству как свежей *клюквы*, так и продуктов ее переработки являются США, Чили и Канада. Предложение на рынке фруктов *папайи* становится доступно практически в любом количестве, чем активно пользуются потребители, используя папайю в качестве альтернативного ингредиента для фруктовых смесей, мюсли, батончиков и прочих снеков. Тем самым рынок регулирует спрос на менее урожайный и дорогостоящий *ананас*. Крупнейшими производителями папайи являются Бразилия, Нигерия, Мексика, Индия, Демократическая Республика Конго, Индонезия, Перу, Китай и Таиланд. *Смородина сушеная* широко производится в Греции. Но все-таки, традиционно самыми востребованными у потребителей остаются *сухофрукты из яблок,* мировым производителем которых, как и свежих плодов является Китай [4].

Данная тенденция степени развития промышленного производства сухофруктов в отдельных государствах отражается, судя по географической принадлежности авторов проанализированных работ, и на уровне научного обеспечения отрасли.

В качестве сырья для производства цукатов – одной из разновидности сухофруктов – издавна использовали плоды косточковых культур [5].

«Ameixa d'Elvas» (сливы из Эльваса) – популярный в Европе товарный знак продукта, полученного традиционным способом осмотического

засахаривания из плодов особого зеленоплодного сорта сливы Rainha Cláudia Verde (Королева Клаудия), произрастающего в Эльвасе (юго-восток Португалии) [6]. Португальские ученые попытались научно обосновать популярность продукта у жителей и гостей Европы, изучив химический состав свежих плодов сорта сливы Rainha Cláudia Verde и непосредственно цукатов из них. Выявлено, что получение вкусного, ароматного продукта привлекательного вида обусловлено эффективностью применяемой технологии засахаривания плодов, а также химическим составом используемого сырья: содержанием достаточного для сохранения текстуры плодовой мякоти при тепловой обработке пектиновых веществ, уроновых кислот и аутентичного для почвенно-климатических условий Эльваса сложного сочетания ароматических веществ [7].

В рамках исследования химических свойств и пользы для здоровья эндемичных продуктов питания интересны результаты итальянских ученых, изучивших продукт «Pompia intrea», получаемый из плодов древнего цитруса помпии (*Citrus monstruosa* L.), культивируемого на Северо-Востоке Сардинии (Италия), выдерживаемых в мёде. В метаболитном профиле этой традиционной сардинской пищи обнаружены лимонен и β-мирцен, обусловливающие специфичный аромат, а также редкий растительный кофермент 3-гидрокси-3-метилглютарил, снижающий уровень холестерина в крови человека. Были отмечено, что образование значительных количеств токсичных 5-гидроксиметилфурфурола и летучих производных фурана возможно контролировать посредством технологических способов переработки. По мнению исследователей, возможность длительного хранения цукатов из помпии может занять новый сегмент рынка [8].

Нигерийскими исследователями изучены химические, органолептические свойства цукатов из ананаса и вишни. Задачей исследования было доказать преимущества цукатов из ананаса, возделываемого в Нигерии в промышленных масштабах, по сравнению с дорогостоящими для африкан-

ского государства цукатами из вишни. Известно, что вишня является источником витаминов, калия, марганца, магния, меди, а также отличным источником флавоноидов. Ананас богат различными минералами и витаминами, обладающими мочегонными, противораковыми и противовоспалительными свойствами. В результате серии исследований подтвердилось предположение о том, что засахаренный ананас легко заменит вишню [9].

Многие фрукты являются сезонными, и их доступность для обычного потребления стала возможной также благодаря сушке. Одним из таких быстропортящихся сезонных плодов является инжир. Крупнейший в мире производитель и экспортер этого субтропического плода Турция в 2013 году произвела около 300 000 тонн плодов, из которых огромные доли (70 %) были экспортированы в виде сушеного товара [10].

Анализируя информацию о видах сырья, ипользуемого при производстве цукатов, отмечено широкое использование кожуры плодов, прежде всего тех, у которых кожица мощная, толстая, отличающаяся уникальными вкусовыми свойствами. Наиболее часто используется кожура цитрусовых культур [11]. В то же время, в современных исследованиях большое внимание уделяется проблеме эффективной утилизации отходов плодов, и получение высушенных продуктов из плодовой кожуры, в том числе цукатов, порошков – как одно из решений их использования, притом что некоторые отходы консервной промышленности – биологически ценные вторичные сырьевые ресурсы. Объектом исследований мексиканских ученых явилась свежая и высушенная кожура опунции, культивируемой в Мексике, составляющей около 30 % от общей массы плода. Было отмечено, что кожура опунции богата антиоксидантными соединениями, такими как полифенолы, флавоноиды и бетаксантины. Исследование показало потенциальную ценность кожуры опунции как хорошего природного источника питательных и биологически активных соединений. Сушка до 15 % влажности сохранила лучшие качества кожуры [12].

Повторимся, отметив, что плодово-ягодное сырьё – ценный источник биологически активных веществ, но, к сожалению, большей части – термолабильных, поэтому важно при производстве сухофруктов по максимуму сохранить нативные свойства сырья. Решению данной проблемы посвящено немало научных работ. В зависимости от используемой среды дегидратации при сушке пищевых продуктов различают две основные категории: на *воздухе* или в *вакууме*. При сушке материалов тепло подается с помощью различных носителей: конвекции, проводимости, излучения, микроволн, радиочастоты, Джоулевого нагревания (асептический процесс мгновенной пастеризации (также называемый «высокотемпературной кратковременной», при котором через пищу пропускается переменный ток с частотой 50-60 Гц.) [13]. Как правило, сушка пищевых продуктов состоит из трех этапов: предварительной сушки, сушки как таковой и последующей сушки, влияние которых на качество конечного продукта зависит от вида обрабатываемого материала и использования конечного продукта. В процессе сушки одновременно происходят два переноса: теплопередача от источника нагрева к продукту и массопередача влаги от внутренней поверхности к внешней [3].

Инфракрасно-конвективная сушка относится к одному из наиболее распространенных, но и энергоемких процессов. Оптимальный режим сушки должен обеспечивать получение продукта стандартного качества при высоких технико-экономических показателях [14]. Поэтому в современных условиях дефицита и роста тарифов на энергоносители актуальными представляются разработка и применение в пищевом производстве новых эффективных способов сушки пищевых продуктов, создание высокопроизводительного сушильного аппарата. Одним из решений снижения энергозатрат инфракрасно-конвективной сушки явилось тонкослойное расположение сырья в сушильном аппарате [15].

Ультразвуковая обработка считается одной из наиболее перспективных нетепловых технологий, применяемых в сушильной пищевой промышленности [16]. Ультразвуковые волны в пище могут вызывать образование микроканалов за счет систематического и попеременного сжатия и декомпрессии материала (так называемый «губчатый эффект») (рис. 1) [17].

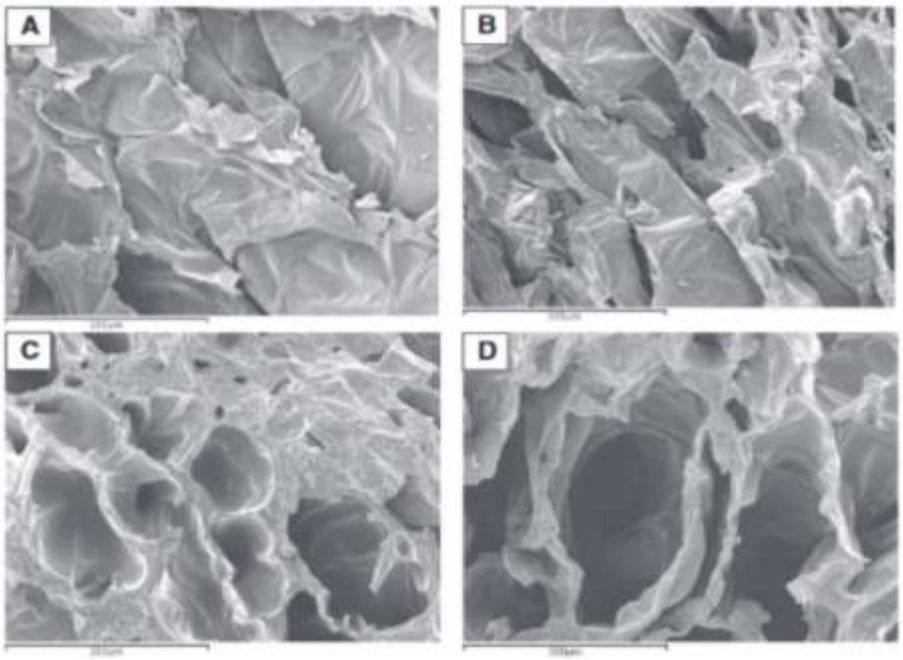

Рис. 1 Поперечное сечение яблока, высушенного при различных условиях ультразвуковой обработки:

A – 10 ºC, 0 Вт; B – 10 ºC, 75 Вт; C – 10 ºC, 0 Вт; D – 10 ºC, 75 Вт

Применение ультразвука в жидкостях может вызвать кавитацию, которая также способна изменять свойства пищи. Благодаря своему механизму, ультразвуковая обработка может улучшить извлечение пигментов, ароматов или антиоксидантов из пищевых матриц. В одном из исследований проводится анализ влияния применения ультразвука на электропроводность, цвет, содержание общих полифенолов и антиоксидантную активность ткани яблони [18]. Образцы растительной ткани обрабатывали либо иммерсионным методом при 21 или 40 кГц, либо контактным ультразвуком (24 кГц). Излучение длилось 5, 10, 20, 30 мин. Применение ультразвука, независимо от используемого метода, в целом увеличивало общую

концентрацию полифенолов до 145,3 % и антиокислительную активность на 64,5 % [18]. Перспективность применения ультразвука при *низкотемпературной сушке* яблок доказана и в исследованиях испанских ученых. Низкотемпературная сушка позволила, сохраняя питательные свойства свежих продуктов, получить высококачественные сушеные продукты лучше, чем обычная сушка [17]. Целью данной работы была оценка влияния уровня применяемой ультразвуковой мощности на качество яблока, анализ кинетики сушки и качество высушиваемого продукта. Для этого кубики из яблок сорта Гранни Смит (размер 8,8 мм) сушили при двух различных температурах (-10 и 10 ºС), *без* и *с применением* ультразвука (25, 50 и 75 Вт). В высушенном яблоке были проанализированы кинетика регидратации, твердость, общее содержание фенола, антиоксидантная способность и микроструктура для оценки влияния уровня применяемой ультразвуковой мощности. При обеих температурах оказалось, чем выше уровень мощности ультразвука, тем короче время сушки [17].

По сравнению с другими методами, *сублимационная сушка* позволяет сохранить большое количество таких важных веществ, как минеральные вещества, витамины, ароматические вещества [19]. Использование данного способа при сушке мякоти авокадо (источника таких биологически активных компонентов, как магний, калий, β-каротин и витамины К, Е, С и B_6) позволило повысить биологическую ценность высушенного продукта и порошка из него [19]. Более впечатляющие результаты по сохранению нативных свойств такого ценного фрукта как цитрус были получены при применении сублимационной сушки в комплексе с *микроволновой вакуумной сушкой*. Комбинированная сушка значительно сокращала время дегидратации сырья. Исследуемые образцы имели высокое содержание каротиноидов, флавоноидов, обладающих антиоксидантной активностью [20].

Применение комплекса методов сушки положительно отразилось и на результатах другого исследования, где была проведена оценка физико-

химических параметров качества сушеной сливы и порошков из нее, полученных с применением общепринятых методов сушки и их комбинации. Изучалось влияние сублимационной, вакуумной, конвективной, микроволновой вакуумной сушки и комбинации конвективной сушки и микроволновой. В результате лучшим для снижения потерь полифенольных соединений, присущих плодам сливы, явилось применение комбинации конвективной сушки на начальном этапе сушки и микроволновой сушки на финишном этапе [21]. Для получения порошкообразных продуктов из плодов, занимающих стремительно развивающийся сегмент рынка, может быть эффективен метод *экструзии*, в основном используемый для приготовления снеков из зернового сырья [22, 23].

Цифровизация технологического процесса дает мощный толчок для прорыва в производстве продуктов питания, прежде всего из растительного сырья, заданного, контролируемого химического состава [24]. *Искусственный интеллект*, характеризующийся способностью к непрерывному обучению и адаптации, в сушильном производстве может повысить надежность управления технологическими процессами от определения качества созревающего урожая [25] до эффективного производства сухофруктов [26]. Вводится целый ряд технологий искусственного интеллекта, таких как сенсорные технологии с применением нанотехнологий [27], системы компьютерного зрения, используемых в процессе сушки фруктов. Например, искусственная нейронная сеть использовалась для анализа взаимосвязи между ультразвуковыми условиями воздействия и антигликозилирующей активностью сырья. Технология искусственного интеллекта способна помочь эффективному физическому полю управлять сушкой фруктов, а также создать более точную модель процесса сушки [26].

Осмотическая дегидратация – процесс предварительной обработки сырья, заключающийся в диффузии влаги из пищевых материалов путем погружения в гипертонический раствор. Осмотическая дегидратация спо-

собствует улучшению питательных и органолептических свойств пищевых продуктов и является менее энергоемким процессом по сравнению с другими методами сушки [28]. Данный технологический элемент является основным при производстве цукатов из плодово-ягодного сырья, когда в качестве осмотических агентов используются различные сахаросодержащие растворы: глюкоза, кукурузный сироп, крахмальные концентраты, фруктоза и сахароза.

В зависимости от вида используемого материала и технологических параметров цукаты можно классифицировать как пищевые продукты со средним содержанием влаги, которое соответствует активности воды в диапазоне от 0,65 до 0,90 [29]. Осмотическая дегидратация зависит от различных факторов, таких как вид осмотического агента, время и температура, концентрация растворенного вещества, соотношение раствора к образцу, перемешивание и геометрия материалов.

Процесс смотической дегидратации заключается в противоточном переносе массы, при котором раствор поступает в пищу, а влага элюируется из внутренней части пищи в гипертонический раствор. Разница осмотического давления между пищевым материалом и гипертоническим раствором обеспечивает необходимую движущую силу для удаления воды из пищи в осмоактивный раствор [2].

Полупроницаемая природа растительных тканей и меньший размер молекул воды обеспечивают движение воды из плодового сырья и растворенного вещества из гипертонического раствора. Это приводит к снижению содержания влаги до 50 % массы свежих фруктов [28]. Потеря влаги из продукта происходит с большей скоростью в первые несколько часов, а затем скорость медленно уменьшается в последующие часы (6 ч) и, наконец, потеря влаги прекращается. Однако диффузия растворенного вещества в материал не является существенной на начальном этапе осмотической обработки. Но по мере того, как скорость обезвоживания уменьшает-

ся, скорость растворения увеличивается в пищевом материале. Химическая разность потенциалов на полупроницаемой мембране между клеточным материалом и осмотическим раствором является движущей силой массового потока, которая связана с температурой и активностью воды. Осмотическая дегидратация длится до равновесного состояния водной активности раствора и дегидратируемого образца. Однако более низкое чем у клетки осмотическое давление окружающей среды приводит к миграции воды в клетки. Клетки начинают набухать до ограниченного размера из-за жесткой структуры клеточной стенки. Раствор проникает во внеклеточный объем и может проникать или не проникать в клеточную мембрану и диффундировать во внутриклеточный объем в зависимости от геометрии растворенных веществ. После того как растворенные вещества проникают в ткань через клеточную мембрану, развивается потенциальная разница, следовательно, вода течет во внеклеточный объем. Клетка, погруженная в гипертоническое растворение, теряет воду. Обезвоживание протоплазмы приводит к сморщиванию клеток [28].

Процесс массопереноса и усадки ткани растягивается от поверхности к центру материала с течением времени работы. Наконец, клетки в центре материала теряют воду, и поток переноса массы, вероятно, уравновешивается после длительного периода контакта жидкости с твердым телом. Усадка тканей и массоперенос происходят одновременно в процессе осмотической дегидратации. При осмосе «фронт» дегидратации движется к центру материала. Вода транспортируется по трем различным областям, каждая из которых обладает своими характерными свойствами: диффузия воды от поверхности материала к фронту гидратации, диффузия воды через фронт и диффузия воды через осмотически обработанный биологический материал в окружающую среду. Первоначально вода диффундирует из внешнего слоя образца в осмотическую среду, тем самым повышая осмотическое давление на поверхности. Клеточные мембраны начинают раз-

рываться и сжиматься, когда теосмотическое давление достигает критического значения. На этой стадии скорость массопереноса резко возрастает и значительное количество воды диффундирует [28].

Диффузия осмотического агента при производстве цукатов – это различной молекулярной массы сахара, – обусловлена концентрацией растворенного вещества, температурой и временем насыщения плодовой массы [30]. Температура выше 45 ºС вызывает термическое повреждение ткани, ухудшение вкуса и ферментативное потемнение, поэтому важно контролировать режимы осмоса. При осмотической дегидратации плодов киви изучалось влияние температуры обработки (25, 35 и 45 ºС) и времени насыщения (0-300 мин) на качество продукции. Как оптимальный режим выявлен следующий: температура обработки 35 ºС, время насыщения 100 минут [31]. Исследование влияния осмотической дегидратации на плоды манго осуществляли путем изменения температуры обработки (30-50 ºС), концентрации раствора (40-60 %) и времени погружения (60-150 мин). Максимальное удаление воды (25 %) при поглощении твердого вещества менее 6 % оказалось возможным при сохранении подходящей комбинации раствора сахарозы (44 %), времени обработки (80 мин) и температуры 38 ºС [32]. Качественные, осмотически высушенные кольца бананов также были получены, когда в виде осмотического агента была использована сахароза, что объясняется тем, что осмоагент с более низкой молекулярной массой может легче проникать в клетки плода по сравнению с осмотическим агентом с более высокой молекулярной массой [29, 33].

Оценили влияние сахарозы, фруктозы, глюкозы, сорбита и мальтодекстрина на скорость массового потока при осмотической дегидратации плодов абрикоса. Наименьшие и наибольшие потери воды были получены растворами сорбита и сахарозы соответственно. Однако самый низкий и самый высокий уровни дегидратации были получены при использовании растворов фруктозы и мальтодекстрина, соответственно. Молекулярная

масса сорбита меньше, чем у сахарозы. Мальтодекстрин имеет значительно более высокую молекулярную массу и высокий уровень обезвоживания, что объясняется его более высокой способностью поглощения по сравнению с другими используемыми осмотическими агентами. Помимо обеспечения низкого поглощения твердых веществ, фруктоза обеспечивает высокое осмотическое давление в клетках абрикоса за счет своих адсорбционных свойств. Следовательно, растворы фруктозы и сахарозы явились лучшими для получения цукатов из абрикосов из-за низкого прироста твердой массы и высокой потери воды [32]. При осмотическом обезвоживании тканей яблони до водной активности (a_w) 0,97 или 0,94 растворами мальтозы или мальтозного сиропа проведено сравнение с результатами использования глюкозы или трегалозы в качестве осмоагента [28]. Трегалоза и мальтоза оказывали защитное действие на мембраны клеток яблока по сравнениию с глюкозой. Образцы, пропитанные мальтозой, также демонстрировали более высокие уровни дегидратации.

На процесс осмотической дегидратации влияет pH осмотического раствора. Так, максимальные потери воды для яблочных колец при использовании кукурузного сиропа отмечены при pH 3,0-6,0. По мере снижения pH (pH 2,0) текстура яблока становилась мягче, что могло быть связано с деполимеризацией и гидролизом пектина [28].

При хранении цукатов часто возникает кристаллизация сахара, портящая внешний вид цукатов. Цукатная кожура цитрусовых плодов достигается за счет осмотического обезвоживания путем погружения продукта в концентрированный раствор, состоящий из сахарозы, глюкозы, глюкозного сиропа или кукурузного сиропа. В результате засахаривания повышается стабильность/срок годности продукта за счет частичного удаления свободной воды. В рассматриваемом исследовании установлены диаграммы состояния цукатов апельсиновой цедры, полученных насыщением сахарозой или глюкозо-фруктозным сиропом [29]. Перекристаллизация сахара часто

наблюдается при хранении продуктов, содержащих низкомолекулярные сахара в аморфном состоянии. Чем больше разница между температурой хранения продукта, тем выше скорость кристаллизации. Одним из методов, используемых для уменьшения процесса перекристаллизации сахара, является добавление к продукту высокомолекулярного полисахарида. Использование глюкозо-фруктозного сиропа предотвратило перекристаллизацию сахара [29].

Осмовысушенный продукт не является стабильным с точки зрения консервации, поэтому осмотическая дегидратация используется в комплексе с другими методами, а именно: импульсным высоким электрическим полем, высоким гидростатическим давлением, ультразвуком, центробежной силой, вакуумом и гамма-облучением, повышающими эффективность осмоса за счет увеличения проницаемости клеточных мембран и скорости массопереноса. Эти комбинированные операции сокращают время сушки, сводя к минимуму дальнейшие затраты энергии [28].

Результатом применения предварительной обработки яблочных ломтиков электрическим током при напряжении 20, 27 и 32 В/см в течение 10, 20 и 30 с соответственно, явилось уменьшение времени последующей осмотической дегидратации в диапазоне 26-64 %, увеличение количества удаляемой воды на единицу потребляемой энергии [33]. Отмечено, импульсные электрические волны при высоком напряжении градиентов индуцируют электрический пробой клеточных мембран, известный как электропорация, более высокая сила электрического поля приводит к большему повреждению тканей [34].

Влияние импульсных электрических полей отразилось на массопереносе и качестве при осмотической дегидратации более сочных, чем яблоки, плодов киви. Киви является важным источником витамина С, лютеина, фенолов, флавоноидов, но срок годности свежих плодов киви невелик и требует применения методов обработки для увеличения срока их хранения,

одним из которых является сушка. В рассматриваемой работе на предварительном этапе переработки плодов была применена обработка импульсным током при напряженности поля 0,7, 1,1 и 1,8 кВ/см. Далее исследовались различные осмотические агенты: глицерин, трегалоза, мальтодекстрин, аскорбиновая кислота, хлорид натрия, хлорид кальция и цитриновая кислота. В растворы погружали отдельно сырье, обработанное током и необработанное. Под диффузию было отведено время в 240 мин при различных температурах: 25, 35 и 45 ºС. Соотношение раствора к образцу составляло 5:1, чтобы избежать значительного разбавления среды удалением воды, что привело бы к локальному снижению осмотической движущей силы во время процесса. Комбинированное применение нетермических методов привело к значительному увеличению содержания витамина С, все образцы сохранили форму и привлекательный вид [35]. Обработка пользующихся популярностью ягод годжи электрическим током (PEF) перед дегидратацией (OD) также повлияла на массоперенос и качество конечного продукта. Сочетание OD при T = 55 ºС, 60 мин, PEF – 2,8 кВ/см и воздушной сушки (60 ºС) по сравнению с обычной воздушной сушкой привело к уменьшению общего времени обработки (на 180 мин или 33 %), лучшему удержанию цвета, более высокой антиоксидантной способности и общему содержанию фенолов [36].

Хорошие результаты достигнуты при изучении влияния мощности ультразвука на основные качественные свойства и жизнеспособность клеток осмотически обезвоженной клюквы. Проводили ультразвуковую обработку в двух осмотических растворах, проанализированы антиоксидантная активность и сохранение первоначальной формы клеток клюквы. Ультразвуковую обработку проводили при частоте 21 кГц в течение 30 и 60 мин в жидкой среде: 61,5 % раствор сахарозы и 30 % раствор сахарозы с добавлением 0,1 % гликозидов стевиола. Проведенные исследования показывают, что ультразвуковая обработка, проводимая на целых плодах клюквы в

осмотическом растворе, во многих случаях была недостаточной для существенного изменения содержания сухого вещества, растворимых твердых веществ, объема или плотности. Однако сочетание традиционной обработки – термической (бланширование) или механической (резка), с нетермической обработкой ультразвуком, применяемой при осмотической дегидратации, привело к значительному изменению содержания сухого вещества и общего количества растворимых твердых веществ, что указывает на возможное усиление процессов массопереноса [37].

Использование современных технологий при производстве пищевых продуктов часто приводит к снижению пищевой ценности вследствие потерь основных нутриентов [38]. С точки зрения минимизации термического воздействия на биокомпоненты плодового сырья метод осмотической дегидратации можно рассматривать как один способов получения *функциональных продуктов* [28]. Так, целью одного из исследований было предать такому популярному продукту как яблочные снеки функциональные свойства посредством осмотической дегидратации яблочного сырья в виде колец в растворе изомальта и мальтодекстрина. Изомальт, получаемый восстановлением изомальтулозы (6-O-α-d-глюкопиранозил-d-фруктофуранозы), используется в пищевых продуктах в качестве питательного подсластителя [39]. Его использование оказывало защитное действие на яблочную ткань, подвергнутую воздействию высоких температур (140 ºС), а также сохранило добавляемый антиокислитель – аскорбиновую кислоту. Мальтодекстрин, образуя защитный барьер на поверхности гигроскопических частиц, улучшает качество обезвоженных продуктов, уменьшая их липкость и повышая их стабильность.

В результате были получены яблочные снеки с хорошими свойствами с точки зрения текстуры, цвета и вкуса (рис. 2). Наличие изомальта позволяло выпекать снеки при температуре 140 ºС в течение короткого времени без ущерба для качества [39].

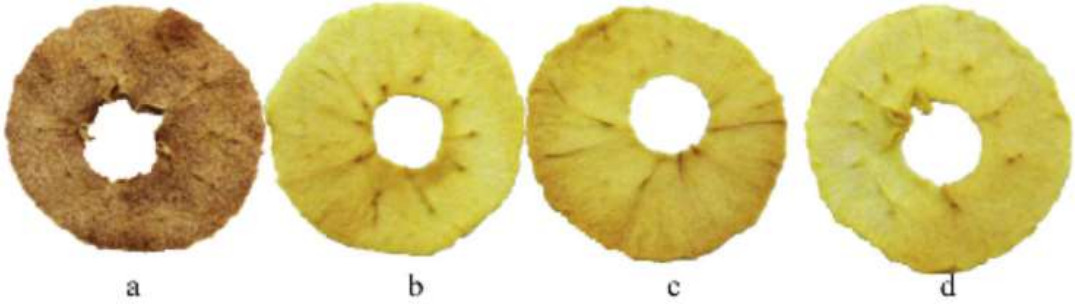

Рис. 2. Яблочные снеки: a – контроль без обработок;
b – Iso A (соотношение изомальта и мальтодекстрина 1:1);
c – Iso B (1:2) и d – Iso C (2:1)

В исследовании индийских ученых по увеличению длительности срока хранения быстропортящихся плодов индийского крыжовника (амлы) осмотическую обработку использовали в качестве метода инфузии (медленное введение, вливание вещества) фруктоолигосахарида (ФОС) [40]. Изначально плоды амлы подвергли осмотическому обезвоживанию в растворах сахарозы, но сахароза не подходит для больных сахарным диабетом. ФОС является неперевариваемым олигосахаридом и может быть использован в качестве альтернативного подсластителя, диетического волокна или пребиотика, а также, с точки зрения технологичности, в качестве осмотического агента. Было обнаружено, что инфузия ФОС увеличивалась в диапазоне температур от 30 до 50 ºС. Потери воды и прирост твердого вещества в плодах амлы в процессе инфузии были выше при более высоких температурах. Обнаружено, что с увеличением времени погружения сырья в растворе осмоагента содержание влаги уменьшалось, а насыщение сырья ФОС увеличивалось. Было показано, что инфузия ФОС вызывает увеличение антиоксидантной активности, а также содержания фенола и флавоноидов в плодах, хотя сам по себе фруктоолигосахарид не проявлял значительного антиоксидантного эффекта [40].

Эффективность метода инфузии, как способа обогащения продукта функциональными ингредиентами, нашла свое отражение в следующем

исследовании [41]. В данной работе посредством инфузии предполагалось включение имбирного олеоресина – мощного натурального антиоксиданта гингерольной природы в цукаты манго, синергетически усилив уникальную кисло-сладкую палитру вкуса манго наряду с улучшением его нутрицевтических свойств. Для получения эмульсии экстракт имбиря смешивали с пищевым эмульгатором Gelucire ® 44/14 и Твином 80 в соотношении 2:5:3 и нагревали при температуре 40 ºС в течение нескольких минут. Для инфузионной обработки готовили сахарные растворы различных концентраций с эмульсией, в которой содержание гингеролов поддерживалось на уровне 300 мг/л. Основную сушку дегратированного манго проводили до остаточной влажности 13,5 % и активности воды 0,40-0,45. Многоступенчатая оптимизация процесса получения цукатов обеспечила 85,6; 76,8 и 60,2 %-ное сохранение β-каротина, общих фенолов, витамина С соответственно, наряду с незначительной разницей в цвете и значительным улучшением органолептических оттенков по сравнению со свежим манго [41].

Положительный отклик при обогащении биологически активными соединениями посредством метода инфузии получен при получении цукатов из арбузной корки. В качестве осмотического агента был использован раствор антоцианов гарцинии индийской, из кожуры плода которой получают пряность карри [42].

Путем обогащения фенольными соединениями винограда посредством введения в рецептуру порошка из виноградной кожуры были получены фруктовые леденцы. Обогащение порошками увеличивало содержание антоцианов, флавонолов и процианидинов в конфетах, что приводило к повышению антиоксидантной активности, которая оставалась стабильной во время обработки. Кроме того, обогащенные волокном конфеты обладали хорошими текстурными свойствами [43].

С целью разработки здоровой закуски в качестве носителя использовали пробиотические бактерии – живые организмы, которые при введении

в достаточных количествах (106-107 CFU/g) регулируют работу желудочно-кишечного тракта, стимулируют иммунную систему, предупреждают сердечно-сосудистые заболевания. Поскольку потребление закусок является устоявшейся привычкой во всем мире, эти продукты могут представлять собой подходящую матрицу для доставки пробиотических бактерий. Объектом исследований явились яблочные снеки. Для разработки термически обработанных закусок, содержащих пробиотики, необходимо преодолеть различные трудности. Среди них наиболее критичными являются минимизация бактериальных повреждений и потери жизнеспособности, вызываемые температурными режимами сушки, с сохранением основных свойств закуски: хрусткости, текстуры, цвета, поскольку потеря этих свойств может привести к непринятию продукта, даже если пробиотики жизнеспособны [44]. Иммобилизация пробиотиков в съедобных пленках (одиночных или композитных биополимерных субстратах) представляется перспективным путем их защиты и покрытия пищевых систем, где пробиотики не могут быть инкорпорированы путем прямой инокуляции [45]. Яблочные закуски были покрыты пленками метилцеллюлозы, содержащими фруктоолигосахариды и лактобациллу *Lactobacillus plantarum* CIDCA 83114 [44]. Включение фруктоолигосахаридов в пленочную матрицу способствует защите микроорганизмов при обезвоживании и хранении, а также придает полученным пленкам пребиотические свойства. *L. plantarum* CIDCA 83114 является особенно интересным штаммом, обладающим ингибирующим свойством против патогенов желудочно-кишечного тракта человека.

Как было отмечено, основной проблемой получения яблочных снеков, обогащенных функциональными пробиотиками, являлось сохранение их жизнеспособности, но и нанесение на яблочные сушеные кольца покрытия оказалось сложным технологичным шагом. Обработка высушен-

ных и хрустящих закусок пленкообразующим раствором (жидкостью) может смягчить их и определить их сенсорные свойства. Чтобы избежать этого, яблочные закуски покрывали на их верхней поверхности равномерно распределенным тонким слоем пленкообразующего раствора метилцеллюлозы, содержащего *L. plantarum* CIDCA 83114. Количество микроорганизмов, содержащихся в определенном объеме раствора, относили к весу яблочных закусок. Время образования пленок – 2,5 ч при 40 ºС. Но в случае снеков потребовалось более короткое время, поскольку объем МЦ-пленок, распределенных на яблочных снеках, значительно ниже, чем утверждалось ранее [45]. Были проанализированы различные комбинации температуры и времени, чтобы определить условие, позволяющее полностью высушить покрытие без бактериального вредного воздействия. Сушка при температуре выше 80 ºС в течение коротких периодов времени давала продукт хорошего качества с точки зрения визуального аспекта и хрустящей корочки. Несмотря на короткое время нагрева, эти обработки вызывали необратимую гибель микроорганизмов. Более низкие температуры сушки несли меньшую смертность, но требовали более длительной обработки. Учитывая это, в качестве условия сушки для дальнейших экспериментов был выбран нагрев при температуре 60 ºС в течение 50 мин. Это условие позволило получить продукт с постоянным содержанием воды, хрустящей корочкой и визуальным аспектом, сходным с тем, который был получен до нанесения пленкообразующего раствора, без существенного негативного воздействия на микроорганизмы [44].

Сотрудниками лаборатории хранения и переработки плодов и ягод ФГБНУ СКФНЦСВВ не одно десятилетие ведутся исследования по повышению эффективности процесса производства цукатов из плодов и ягод.

В комплекс первичных подготовительных элементов обработки сырья при производстве цукатов из яблок включена *калибровка* плодов и

очистка (срез) кожуры. Калиброваниe плодов по размерам обязательно при механизированном способе удаления кожуры, несъедобных частей (плодоножек, семенного гнезда) и резки.

Проведены исследования по пригодности определенных сортов яблок для производства данного продукта. Для получения цукатов привлекательного товарного вида с высокими показателями качества рекомендованы неокрашенные сорта яблок зимнего срока созревания, с низким содержанием фермента полифенолоксидазы: **Корей, Голден Делишес.** Плоды сорта Ренет Симиренко не походят, ввиду быстрого потемнения (окисления) мякоти.

Из окрашенных плодов рекомендовано использовать плоды, отличающиеся более светлой окраской мякоти, например, сорт **Прикубанское.** Не подходят плоды сортов **Айдаред, Багрянец Кубани,** так как в мякоти присутствует желтый оттенок, ухудшающий при сушке товарный вид сухофруктов.

Сотрудниками лаборатории лаборатории хранения и переработки плодов и ягод для получения сухофруктов испытываются и плоды косточковых культур. Как известно, из сортов *сливы домашней* для сушки лучше использовать сорта типа «венгерка», отличающиеся плотностью мякоти, которая менее деформируется при тепловых обработках. Немаловажно учитывать и сроки съема плодов. Для получения цукатов привлекательной объемной формы непригодны как недозрелые плоды, так и перезревшие. Для производства сухофруктов рекомендуем использовать сорта **Кабардинская ранняя, Венгерка кавказская, Кубанская легенда, Стенлей.**

Учеными СКФНЦСВВ отмечено, что коммерчески привлекательными являются цукаты и из плодов *вишни обыкновенной* (сорта **Молодежная, Чудо-вишня, Чернокорка, Любская**) *и черешни* (сорта **Мелитопольская черная, Кавказская, Волшебница, Францис** и др.).

Заключение. Применение различных методов дегидратации плодово-ягодного сырья для сохранения его свойств получило широкое распространение в мире. Каждый день ассортимент сухофруктов и цукатов расширяется и пользуется высокой популярностью у населения. Производство сушильной продукции опирается не только на технологические параметры самого процесса сушки, но и на сортовые особенности используемого в рецептуре сырья. Применение современных методов дегидратации позволяет максимально сохранить биологически активные вещества в готовом продукте и высокой дегустационной оценкой.

Литература

1. World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100 // Организация объединенных наций, Департамент по экономическим и социальным вопросам, Accessed 22nd Mar 2019. https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2017.html (2017)

2. S.M. Rahman. Handbook of food preservation CRC Press (2007) https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00143-5

3. Физиология растений / И.П Ермаков [и др.]. М.: Академия, 2005. С. 273, С. 463-640.

4. Мировой рынок сухофруктов и цукатов https://berekat.ru/info/articles/mirovoy-rynok-sukhofruktov-i-tsukatov-yanvar-2020-g/

5. Технология производства цукатов из алычи крупноплодной красно-фиолетовой южного Казахстана / Н.В. Алексеева [и др.] // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2018. № 6 (51). С. 28-32.

6. C. Nunes Study of the volatile components of a candied plum and estimation of the ircontribution to the aroma/ M.A. Coimbra, J. Saraiva, S. M. Rocha// Food Chemistry 111 (2008) 897-905.

7. C. Nunes. Search for suitable maturation parameters to define the harvest maturityof plums (*Prunus domestica* L.): A case study of candied plums / A.E. Ratob, A.S. Barrosa, Jorge A. Saraivaa, Manuel A. Coimbraa// Food Chemistry 112 (2009) 570-574.

8. M. Deiana. First characterization of Pompia intrea candied fruit: The headspace-chemical profile, polar extract composition and its biological activities/ P. Montorob, I. Jerkovićc, A. Atzeria, Z. Marijanovićd, G. Serrelia, S. Piacenteb, C. Ignazio, G. Tuberoso // Food Research International. 2019. P 620-630.

9. O. Olua. Chemical, microbial and sensory properties of candied-pineapple and cherry cakes / Edide, R.O.//Nigerian Food Journal. ol. 31 No. 1, pages 33-39, 2013

10. Wan Nurlaila Mat Desa. Review of drying technology of fig / M. Mohammad, A. Fudholi // Trends in Food Science & Technology. 2019. №88. P 93-103

11. Способы производства цукатов / Н.З. Райхель [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 2-2. С. 168-171.

12. F. Ettalibia. Drying impact on physicochemical and biochemical criteria of prickly pear fruit peels of three varieties of Opuntia spp. / H. Elmahdaouia, J. Amzilc, Ch. Gadhib, H. Harraka // Materials Today: Proceedings № 27(2020) 3243-3248

13. X.D. Chen and A.S. Mujumdar. Drying technologies in food processing // Blackwell publishing (2008) https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.004

14. Беляева М.А., Малази С.А. Моделирование теплопереноса процесса сушки казеина с учетом изменения структурно-механических свойств при комбинированном инфракрасном и конвективном нагреве // Пищевая промышленность. 2020. № 8. С. 60-63. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10088

15. O. Khwaja. Underutilized kadam (Neolamarckia cadamba) fruit: Determination ofsome engineering properties and drying kinetics M. H. Siddiqui, K. Younis // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, №19 (2020) 401-408

16. Y. Qia. Drying of wolfberry fruit juice using low-intensity pulsed ultrasound / F.Yubc, X.Wangbc, N.Wanbc, M.Yangbc, Z.Wubc, Y. Libc // LWT Available online 23 January 2021, 110953, In Press, Journal Pre-proof https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110953

17. J.V. Santacatalina. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature dryingof apple/ M. Contrerasa, S. Simalb, J.A. Cárcela, J.V. Garcia-Perez // Ultrasonics Sonochemistry. 2016. №28. P.100-109

18. A.Wiktor. The influence of immersion and contact ultrasound treatmenton selected properties of the apple tissue/ M. Sledz, M. Nowacka, K. Rybak, D. Witrowa-Rajcher // Applied Acoustics. 2016. №103. P. 136-142.

19. A. Stępień Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin / M. Witczak, T. Witczak // International Journal of Biological Macromolecules. 2020. №149. P 256-261.

20. L. Lia. Effect of combined drying method on phytochemical components, antioxidant capacity and hygroscopicity of Huyou (Citrus changshanensis) fruit / M. Zhanga, B. Chitrakara, H. Jiang// LWT - Food Science and Technology 123(2020) 109102.

21. A. Michalska. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained usingdifferent drying technologies /A. Wojdyłoc, K. Lecha, G. P. Łysiakd, A. Figiel // Food Chemistry 207 (2016) 223-232.

22. M. Sujkaa. Characterization of pore structure of rice grits extrudates usingmercury intrusion porosimetry, nitrogen adsorption and water vapourdesorption methods / Z. Sokolowskab, M. Hajnosb, M. Wlodarczyk-Stasiak // Journal of Food Engineering № 190, 2016, 147-153.

23. V. Obradovic. Influence of dried Hokkaido pumpkin and ascorbic acid additionon chemical properties and colour of corn extrudates / J. Babic, D. Šubaric, A. Jozinovib, Đurdica Acˇkarb, I. Klaric//Food Chemistry, 183, 2015, 136-143.

24. Причко Т.Г., Мачнева И.А., Дрофичева Н.В. Предпосылки для внедрения цифровых технологий в производство пищевых продуктов на основе растительного сырья [Электронный ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 61(1). С. 122-137. URL: http://journalkubansad.ru/pdf/20/01/10.pdf. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-1-61-122-137 (дата обращения: 21.02.2021).

25. N.T. Anderson. Achieving robustness across season, location and cultivar for a NIRS modelfor intact mango fruit dry matter content / K.B. Walsh, P.P. Subedi, C.H. Hayes // Postharvest Biology and Technology №168, 2020, 111202.

26. J. Chena. Artificial intelligence assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical fields: A review / M. Zhanga, B. Xud, J. Sune, Arun S. Mujumda // Trends in Food Science & Technology 105(2020) 251-260.

27. Литвяк В.В., Копыльцов А.А., Ананских В.В. Нанотехнологии в пищевой промышленности // Пищевая промышленность. 2020. № 12. С. 14-19.

28. Andrea B. Nietoa. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity ontissue structure, rheological properties and water mobility/ S. Vicentee, K. Hodarac, María A. Castrod, S.M. Alzamora // Journal of Food Engineering. 2013. №119. P.104-114.

29. T. Witczak. State diagrams of candied orange peel obtained using different hypertonic solutions / M. Witczak, A. Stepien, A. Bednarz, M. Grzesik // Journal of Food Engineering. 2017. №212. P 234-241.

30. Ana S. Abraãoa. Influence of osmotic dehydration process parameters on thequality of candied pumpkins / André M. Lemosa,1, Alice Vilelab, José M. Sousaa, Fernando M. Nunesa// Food and Bioproducts Processing. 2013. №91. P 481-494.

31. V. Panaresea. Effect of osmotic dehydration on Actinidia deliciosa kiwifruit: A combined NMRand ultrastructural study/ L. Laghia, A. Pisib, U. Tylewicza, M. Dalla Rosaa, P. Roccul // Food Chemistry. 2012. №132. P 1706-1712.

32. I. Ahmed. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables / I. Mabood Qazi, S. Jamal // Innovative Food Science and Emerging Technologies - №34, 2016, 29-43.

33. H. Yildiza. Effects of electrical pretreatment conditions on osmotic dehydrationof apple slices: Experimental investigation and simulation / F. Icierb, S. Erogluc, G. Dagc // Innovative Food Science and Emerging Technologies. №35, 2016, 149-159.

34. E. Amami. Effect of pulsed electric field on the osmotic dehydration and mass transfer kinetics of apple tissue/ E. Vorobiev and N. Kechaou // Drying Technology, 23 (3) (2005), pp. 581-595.

35. E. Dermesonlouoglou. Effect of pulsed electric fields on mass transfer andquality of osmotically dehydrated kiwifruit// I. Zachariou, V. Andreou, P.S. Taoukis// Food and bioproducts processing - 100 (2016) 535-544.

36. E. Dermesonlouoglou. Combined effect of pulsed electricfield and osmotic dehydration pre-treatments on mass transfer and quality of air dried goji berry/ A. Chalkia, G. Dimopoulos, P. Taoukis // Innovative Food Science and Emerging Technologies - № 49, 2018, 106-115.

37. M. Nowackaa. Influence of power ultrasound on the main quality properties and cellviability of osmotic dehydrated cranberries/ A. Fijalkowskaa, A. Wiktora, M. Dadana, U. Tylewiczb, M. Dalla Rosab, D. Witrowa-Rajcher// Ultrasonics - № 83, 2018, 33-41.

38. Бычкова Е.С., Госман Д.В., Бычков А.Л. Современное состояние и перспективы развития производства продуктов функционального назначения // Пищевая промышленность. 2020. № 5. С. 31-34. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10051.

39. M. J. Tavera-Quiroza. Baked snack from green apples formulated with the addition of isomalt /M. Urrizaa, A. Pinottia, N. Bertola //LWT - Food Science and Technology 62, 2015, 1004-1010.

40. Sinjitha S. Nambiara. Infusion of fructooligosaccharide in Indian gooseberry (*Emblica officinalis*) fruit using osmotic treatment and its effect on theantioxidant activity of the fruit/ A. Basub, N. P. Shettya, Navin K. Rastogic, S.G. Prapulla// Journal of Food Engineering, № 190, 2016, P 139-146.

41. A. Shuklaa. Gingerols infusion and multi-step process optimization for enhancement ofcolor, sensory and functional profiles of candied mango/ R.S. Shuklab, Chandan Dasa, Vaibhav V. Goud //Food Chemistry - 300 (2019) 125195.

42. Bellary, A. N. Anthocyanin infused watermelon rind and its stability during storage. / Indiramma, A.R., Prakash, M., Baskaran, R., & Rastogi, N.K. // Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 33, 554-562.

43. Cappa, C., Lavelli, V., & Mariotti, M. (2015). Fruit candies enriched with grape skin powders: Physicochemical properties. LWT-Food Science and Technology, 62(1), 569-575.

44. M.J. Tavera-Quiroza. Green apple baked snacks functionalized withedible coatings of methylcellulose containing *Lactobacillus plantarum* / N. Romano, P. Mobilib, A. Pinottia, A. Gómez-Zavagliab, N. Bertola//Journal of Functional Foods 16 (2015) 164-173.

45. N. Romano. Edible methylcellulose-based films containing fructo-oligosaccharides as vehicles for lactic acid bacteria/ A. Gómez-Zavaglia // Food Research International, 64 (2014), pp. 560-566.

References

1. World population projected to reach 9.8 billion in 2050, and 11.2 billion in 2100 //Organizaciya ob"edinennyh nacij, Departament po ekonomicheskim i social'nym voprosam, Accessed 22nd Mar 2019//https://www.un.org/development/desa/en/ news/population/world-population-prospects-2017.html (2017).

2. S.M. Rahman. Handbook of food preservation CRC Press (2007) https://doi.org/ 10.1016/S0963-9969(00)00143-5.

3. Fiziologiya rastenij / I.P Ermakov [i dr.]. M.: Akademiya, 2005. S. 273, S. 463-640.

4. Mirovoj rynok suhofruktov i cukatov. https://berekat.ru/info/ articles/mirovoy-rynok-sukhofruktov-i-tsukatov-yanvar-2020-g/

5. Tekhnologiya proizvodstva cukatov iz alychi krupnoplodnoj krasno-fioletovoj yuzhnogo Kazahstana / N.V. Alekseeva [i dr.]. // Evrazijskij Soyuz Uchenyh (ESU). 2018. № 6 (51). S. 28-32.

6. C. Nunes. Study of the volatile components of a candied plum and estimation of the ircontribution to the aroma / M.A. Coimbra, J. Saraiva, S. M. Rocha // Food Chemistry 111 (2008) 897-905.

7. C. Nunes. Search for suitable maturation parameters to define the harvest maturity of plums (*Prunus domestica* L.): A case study of candied plums / A.E. Ratob, A.S. Barrosa, Jorge A. Saraivaa, Manuel A. Coimbraa// Food Chemistry 112 (2009) 570-574.

8. M. Deiana. First characterization of Pompia intrea candied fruit: The head space-chemical profile, polar extract composition and its biological activities / P. Montorob, I. Jerkovićc, A. Atzeria, Z. Marijanovićd, G. Serrelia, S. Piacenteb, C. Ignazio, G. Tuberoso // Food Research International. 2019. R 620-630.

9. O. Olua. Chemical, microbial and sensory properties of candied-pineapple and cherry cakes / Edide, R.O. // Nigerian Food Journal. ol. 31 No. 1, pages 33-39, 2013.

10. Wan Nurlaila Mat Desa. Review of drying technology of fig/ M. Mohammad, A. Fudholi // Trends in Food Science & Technology. 2019. №88. R. 93-103.

11. Sposoby proizvodstva cukatov / N.Z. Rajhel' [i dr.] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2017. № 2-2. S. 168-171.

12. F. Ettalibia. Drying impact on physicochemical and biochemical criteria of prickly pear fruit peels of three varieties of Opuntia spp. / H. Elmahdaouia, J. Amzilc, Ch. Gadhib, H. Harraka // Materials Today: Proceedings № 27(2020) 3243-3248.

13. X.D. Chen and A.S. Mujumdar. Drying technologies in food processing // Blackwell publishing (2008) https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.12.004.

14. Belyaeva M.A., Malazi S.A. Modelirovanie teploperenosa processa sushki kazeina s uchetom izmeneniya strukturno-mekhanicheskih svojstv pri kombinirovannom infrakrasnom i konvektivnom nagreve // Pishchevaya promyshlennost'. 2020. № 8. S. 60-63. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10088.

15. O. Khwaja. Underutilized kadam (Neolamarckia cadamba) fruit: Determination ofsome engineering properties and drying kinetics M. H. Siddiqui, K. Younis // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, №19 (2020) 401-408.

16. Y. Qia. Drying of wolfberry fruit juice using low-intensity pulsed ultrasound / F. Yubc, X. Wangbc, N. Wanbc, M. Yangbc, Z. Wubc, Y. Libc // LWT Available online 23 January 2021, 110953, In Press, Journal Pre-proof https://doi.org/10.1016/ j.lwt.2021.110953.

17. J.V. Santacatalina. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature dryingof apple/ M. Contrerasa, S. Simalb, J.A. Cárcela, J.V. Garcia-Perez // Ultrasonics Sonochemistry. 2016. №28. R.100-109.

18. A.Wiktor. The influence of immersion and contact ultrasound treatmenton selected properties of the apple tissue / M. Sledz, M. Nowacka, K. Rybak, D. Witrowa-Rajcher // Applied Acoustics. 2016. №103. R. 136-142.

19. A. Stępień Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin / M. Witczak, T. Witczak // International Journal of Biological Macromolecules. 2020. №149. R 256-261.

20. L. Lia. Effect of combined drying method on phytochemical components, antioxidant capacity and hygroscopicity of Huyou (*Citrus changshanensis*) fruit / M. Zhanga, B. Chitrakara, H. Jiang// LWT - Food Science and Technology 123(2020) 109102.

21. A. Michalska. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained usingdifferent drying technologies /A. Wojdyłoc, K. Lecha, G. P. Łysiakd, A. Figiel // Food Chemistry 207 (2016) 223-232.

22. M. Sujkaa. Characterization of pore structure of rice grits extrudates usingmercury intrusion porosimetry, nitrogen adsorption and water vapourdesorption methods / Z. Sokolowskab, M. Hajnosb, M. Wlodarczyk-Stasiak // Journal of Food Engineering №190, 2016, 147-153.

23. V. Obradovic. Influence of dried Hokkaido pumpkin and ascorbic acid additionon-chemical properties and colour of corn extrudates / J. Babic, D. Šubaric, A. Jozinovib, Đur-dica Acˇkarb, I. Klaric//Food Chemistry, 183, 2015, 136-143.

24. Prichko T.G., Machneva I.A., Droficheva N.V. Predposylki dlya vnedreniya cifrovyh tekhnologij v proizvodstvo pishchevyh produktov na osnove rastitel'nogo syr'ya [Elektronnyj resurs] // Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii. 2020. № 61(1). S. 122-137. URL: http://journalkubansad.ru/pdf/20/01/10.pdf. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-1-61-122-137 (data obrashcheniya: 21.02.2021).

25. N.T. Anderson. Achieving robustness across season, location and cultivar for a NIRS modelfor intact mango fruit dry matter content / K.B. Walsh, P.P. Subedi, C.H. Hayes // Postharvest Biology and Technology №168, 2020, 111202.

26. J. Chena. Artificial intelligence assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical fields: A review / M. Zhanga, B. Xud, J. Sune, Arun S. Mujumda // Trends in Food Science & Technology 105(2020) 251-260.

27. Litvyak V.V., Kopyl'cov A.A., Ananskih V.V. Nanotekhnologii v pishchevoj promyshlennosti // Pishchevaya promyshlennost'. 2020. № 12. S. 14-19.

28. Andrea B. Nietoa. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity ontissue structure, rheological properties and water mobility / S. Vicentee, K. Hodarac, María A. Castrod, S.M. Alzamora // Journal of Food Engineering. 2013. №119. R.104-114.

29. T. Witczak. State diagrams of candied orange peel obtained using different hypertonic solutions / M. Witczak, A. Stepien, A. Bednarz, M. Grzesik // Journal of Food Engineering. 2017. №212. R 234-241.

30. Ana S. Abraãoa. Influence of osmotic dehydration process parameters on thequali-ty of candied pumpkins/ André M. Lemosa,1, Alice Vilelab, José M. Sousaa, Fernando M. Nunesa // Food and Bioproducts Processing. 2013. №91. R 481-494.

31. V. Panaresea. Effect of osmotic dehydration on Actinidia deliciosa kiwifruit: A combined NMRand ultrastructural study/ L. Laghia, A. Pisib, U. Tylewicza, M. Dalla Rosaa, P. Roccul // Food Chemistry. 2012. №132. R 1706-1712.

32. I. Ahmed. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables/ I. Mabood Qazi, S. Jamal// Innovative Food Science and Emerging Technologies - №34, 2016, 29-43.

33. H. Yildiza. Effects of electrical pretreatment conditions on osmotic dehydrationof apple slices: Experimental investigation and simulation / F. Icierb, S. Erogluc, G. Dagc // Inno-vative Food Science and Emerging Technologies. №35, 2016, 149-159.

34. E. Amami. Effect of pulsed electric field on the osmotic dehydration and mass transfer kinetics of apple tissue/ E. Vorobiev and N. Kechaou // Drying Technology, 23 (3) (2005), pp. 581-595.

35. E. Dermesonlouoglou. Effect of pulsed electric fields on mass transfer andquality of osmotically dehydrated kiwifruit// I. Zachariou, V. Andreou, P.S. Taoukis// Food and bi-oproducts processing - 100 (2016) 535–544.

36. E. Dermesonlouoglou. Combined effect of pulsed electricfield and osmotic dehy-dration pre-treatments on mass transfer and quality of air-dried goji berry/ A. Chalkia, G. Dimopoulos, P. Taoukis // Innovative Food Science and Emerging Technologies - № 49, 2018, 106-115.

37. M. Nowackaa. Influence of power ultrasound on the main quality properties and cellviability of osmotic dehydrated cranberries/ A. Fijalkowskaa, A. Wiktora, M. Dadana, U. Tylewiczb, M. Dalla Rosab, D. Witrowa-Rajcher// Ultrasonics - № 83, 2018, 33-41.

38. Bychkova E.S., Gosman D.V., Bychkov A.L. Sovremennoe sostoyanie i perspek-tivy razvitiya proizvodstva produktov funkcional'nogo naznacheniya // Pishchevaya pro-myshlennost'. 2020. № 5. S. 31-34. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10051.

39. M. J. Tavera-Quiroza. Baked snack from green apples formulated with the addi-tion of isomalt / M. Urrizaa, A. Pinottia, N. Bertola // LWT - Food Science and Technology 62, 2015, 1004-1010.

40. Sinjitha S. Nambiara. Infusion of fructooligosaccharide in Indian gooseberry (*Emblica officinalis*) fruit using osmotic treatment and its effect on theantioxidant activity of the fruit/ A. Basub, N. P. Shettya, Navin K. Rastogic, S.G. Prapulla // Journal of Food Engi-neer-ing, № 190, 2016, P 139-146.

41. A. Shuklaa. Gingerols infusion and multi-step process optimization for enhance-ment ofcolor, sensory and functional profiles of candied mango / R.S. Shuklab, Chandan Da-sa, Vaibhav V. Goud // Food Chemistry - 300 (2019) 125195.

42. Bellary, A. N. Anthocyanin infused watermelon rind and its stability during stor-age / Indiramma, A.R., Prakash, M., Baskaran, R., & Rastogi, N.K. // Innovative Food Sci-ence & Emerging Technologies, 2016, 33, 554-562.

43. Cappa, C., Lavelli, V., & Mariotti, M. (2015). Fruit candies enriched with grape skin powders: Physicochemical properties. LWT-Food Science and Technology, 62(1), 569-575.

44. M.J. Tavera-Quiroza. Green apple baked snacks functionalized withedible coat-ings of methylcellulose containing Lactobacillus plantarum / N. Romano, P. Mobilib, A. Pi-not-tia, A. Gómez-Zavagliab, N. Bertola // Journal of Functional Foods 16 (2015) 164-173.

45. N. Romano. Edible methylcellulose-based films containing fructo-oligosaccharides as vehicles for lactic acid bacteria / A. Gómez-Zavaglia // Food Research International, 64 (2014), pp. 560-566.