

Исина Жанна Магжановна, к.б.н.,
Койгельдина Айгерим Ержановна, PhD,
Казахский научно исследовательский институт
защиты и карантин растений имени Ж.Жиембаева,
Республика Казахстан
E-mail: rustipon2009@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАЛИНЫ

В последние годы благодаря информированности потребителей по здоровому питанию, роль малины в ежедневном рационе человека постоянно растет. Соответственно, наблюдается тенденция к увеличению производства ее плодов, в связи с чем остро встали вопросы усовершенствования способов переработки и хранения плодов малины с целью сохранения полезных свойств этой скоропортящейся культуры. Известно, что малина является богатым источником биологически активных соединений таких как эллаготанины, антоцианы и аскорбиновая кислота, содержание которых может меняться в процессе переработки и хранения. В данном обзоре обобщены данные о влиянии методов послеуборочной переработки и хранения плодов малины на содержание основных биологически активных соединений. Рассмотренные технологии переработки и хранения красной малины показали различное влияние каждого метода обработки и хранения на конечное содержание биологически активных соединений. Их содержание относительно стабильно при хранении в холоде или в замороженном состоянии. Среди способов сушки метод сублимационной сушки является наилучшим способом переработки для сохранения содержания биологически активных соединений, но он требует больших затрат. Обычный метод сушки горячим воздухом, который чаще всего используется в пищевой промышленности является наихудшим методом сушки в плане сохранения содержания биологически активных соединений (особенно антоцианов и аскорбиновой кислоты). Новые технологии, такие как сушка тепловым насосом, который дешевле традиционных методов, становится многообещающим процессом для сохранения содержания биологически активных соединений в сушеных ягодах.

Ключевые слова: методы обработки, хранение, малина, биологические активные соединения.

Исина Жанна Магжановна, б.и.к.,
Койгелдина Айгерим Эржановна, PhD,
Ж. Жиембаев атындагы өсүмдүктөрдү коргоо жана
карантини боюнча Казак илимий-изилдөө институту,
Казакстан Республикасы

МАЛИНАНЫН НЕГИЗГИ БИОАКТИВДҮҮ КОШУЛМАЛАРЫНЫН КУРАМЫНА КАЙРА ИШТЕТҮҮ ЖАНА САКТОО ЫКМАЛАРЫНЫН ТААСИРИ

Акыркы жылдары керектөөчүлөрдүн туура тамактануу боюнча маалыматтуулугунун аркасында адамдын күнүмдүк рационунда малинанын ролу тынымсыз өсүүдө. Демек, анын жемиштерин өндүрүүнү көбөйтүү тенденциясы байкалууда, ушуга байланыштуу бул тез бузулуучу өсүмдүктүн пайдалуу касиеттерин сактоо максатында малинанын мөмөлөрүн кайра иштетүү жана сактоо ыкмаларын өркүндөтүү маселеси курч турат. Малина биоактивдүү кошулмалардын бай булагы

эвени белгилүү эллаготаниндер, антоцианиндер жана аскорбин кислотасы сыяктуу, алардын мазмуну кайра иштетүү жана сактоо процессинде өзгөрүшү мүмкүн. Бул кароого негизги биологиялык активдүү кошундулардын мазмуну боюнча малинанын мөмөсүн оруп-жыюудан кийинки кайра иштетүү жана сактоо методдорунун таасири жөнүндө маалыматтар жалтыланган. Каралып чыккан кызыл малинаны кайра иштетүү жана сактоо технологиялары биологиялык активдүү кошулмалардын акыркы мазмунуна ар бир иштетүү жана сактоо ыкмасынын ар кандай таасирин көрсөттү. Алардын мазмуну муздак же тоңдурулганда салыштырмалуу туруктуу болот. Кургатуу ыкмаларынын арасында тоңдуруу кургатуу ыкмасы биоактивдүү кошулмалардын курамын сактоо үчүн эң жакшы иштетүү ыкмасы болуп саналат, бирок ал кымбатка турат. Көбүнчө тамак-аш өнөр жайында колдонулган жалпы ысык аба кургатуу ыкмасы биоактивдүү кошулмаларды (айрыкча антоцианиндер жана аскорбин кислотасы) сактоо жагынан эң начар кургатуу ыкмасы болуп саналат. Салттуу ыкмаларга караганда арзаныраак жылуулук насосу менен кургатуу сыяктуу жаңы технологиялар кургатылган мөмөлөрдөгү биоактивдүү кошулмаларды сактоо үчүн келечектүү процесске айланууда.

Ачкыч сөздөр: кайра иштетүү ыкмалары, сактоо, малина, биологиялык активдүү кошулмалар.

Isina Zhanna Magzhanovna, candidate of biological sciences,
Koigeldina Aigerim Yerzhanovna, PhD,
Kazakh scientific research institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh.Zhiembayev,
Kazakhstan Republic

INFLUENCES OF PROCESSING AND STORAGE TECHNIQUES ON RASPBERRY BIOACTIVE COMPOUND CONTENT

In recent years, the consumption of raspberries has increased because of the growing health consciousness. Accordingly, there is a tendency to increase the production of these fruits, in connection with issues of improving the methods of processing and storing raspberries in order to preserve the beneficial properties of this perishable crop. Indeed, raspberries are a rich source of bioactive chemical compounds such as ellagitannins, anthocyanins, and ascorbic acid, but these can be altered by postharvest storage and processing techniques before consumption. This review summarizes data on the effect of postharvest storage and processing techniques on raspberry bioactive compound content. The considered technologies for processing and storing red raspberries showed a different effect of each method of processing and storage on the final content of biologically active compounds. Their content is relatively stable when stored cold or frozen. Among the drying methods, the freeze drying method is the best processing method for maintaining the content of biologically active compounds, but it is costly. The conventional hot air drying method most commonly used in the food industry is the worst drying method in terms of maintaining bioactive compounds (especially anthocyanins and ascorbic acid). New technologies, such as heat pump drying, which is cheaper than traditional methods, are becoming a promising process for preserving the content of bioactive compounds in dried berries.

Key words: processing methods, storage, raspberries, biologically active compounds

Введение. Малина, наряду со смородиной и крыжовником, является одной из основных ягодных культур, производственные посадки которой находятся на территории 37 стран мира. Малина (*Rubus idaeus L.*) относится к семейству

розоцветных и представляет собой полукустарник, плоды которого на протяжении тысячелетий использовались для питания человека и в народной медицине [1-3]. Плоды малины являются одними из наиболее перспективных сырьевых источников при получении функциональных продуктов питания. Малина является богатым источником биологически активных соединений (эллаготанинов, антоцианов и аскорбиновой кислоты) с высокой антиоксидантной активностью, полезных для профилактики хронических заболеваний человека [4,5].

Свежие плоды малины имеют низкую калорийность и в их состав входят витамины группы В, С, достаточно редкий минерал марганец, фруктоза и большое количество грубых пищевых волокон, которые выводят из организма токсины и холестерин [1, 6]. Наиболее типичные биологически активные соединения, обнаруженные в плодах красной малины, относятся к классу полифенолов (общее содержание фенолов колеблется от 100 до 600 мг на 100 г) [7]. В частности, эллагитаннины (в основном ламбертианин С и сангуин Н-6) и флавоноиды, главным образом антоцианы, являются основными полифенолами, содержащимися в малине [8]. Согласно последним исследованиям, антоцианы в малине в основном представлены (>90%) цианидин-гликозидами (цианидин-3-О-глюкозид, цианидин-3-О-рутинозид, цианидин-3-глюкозилрутинозид и цианидин-3-софорозид) и пеларгонидин гликозидами (пеларгонидин 3-глюкозид) [7, 8]. Возросший в последнее время объем исследований по антоцианам плодов и ягод связан с их использованием в пищевой, фармацевтической, косметической промышленности. Для пищевой промышленности антоцианы представляют большой интерес, поскольку они включают широкий диапазон окраски многих ягод (красный, оранжевый, фиолетовый, синий) и могут использоваться в качестве источников натуральных пищевых красителей как альтернатива синтетическим красителям. Особенно интерес к данной группе флавоноидов увеличился в связи с открытием их антиоксидантных свойств и установления положительного влияния на здоровье человека (снижение риска сердечно-сосудистых, раковых заболеваний и т. д.) [9]. Еще одним важным антиоксидантом является аскорбиновая кислота, которая содержится в этом фрукте в более низкой концентрации по сравнению с апельсином и киви [10].

Малина является скоропортящимся мягким фруктом и увеличивающиеся объемы ее производства ставят перед пищевой промышленностью двойную задачу по разработке методов обработки, которые бы использовали любое перепроизводство и сохраняли при этом питательные вещества [11]. Использование методов послеуборочного хранения, таких как хранение в холодильной камере, хранение при контролируемой атмосфере и замороженное хранение, может эффективно продлить качество плодов малины, что делает ее пригодной для глобальной коммерциализации [12]. Кроме того, ягоды малины можно подвергать сухой обработке, чтобы не только сохранить их питательные свойства, но и получить новые продукты с высокими полезными для здоровья человека свойствами. В настоящее время для обезвоживания малины использовались такие технологии как сублимационная сушка, сушка горячим воздухом и микроволновая сушка. Каждый из перечисленных методов имеет как положительные, так и отрицательные стороны [13, 14].

Производство сока - еще один промышленный метод переработки свежих плодов малины. Фруктовые соки отмечены как функциональные продукты и могут быть введены в рацион для увеличения суточного потребления функциональных метаболитов [15]. Тем не менее, использование вышеупомянутых методов послеуборочной обработки и хранения малины, которые напрямую связаны с различными параметрами, такими как температура и время обработки, может привести к потенциальным изменениям на физическом, биологическом и биохимическом уровнях, что, в свою очередь, может привести к изменению содержания биологически

активных соединений в плодах, влияя на пищевые свойства малины [16-18]. Например, эти методы обработки могут оказать значительное влияние на красный цвет малины, поскольку красноватый цвет обусловлен наличием флавоноидов, то есть антоцианов, которые могут быть очень чувствительны к термической обработке [19, 20]. Как правило ярко выраженная красноватая окраска плодов воспринимается человеком как положительная характеристика, связанная со стадией зрелости плодов, косвенно дающая информацию о сладости и качестве плодов. Поэтому разработка новых технологий переработки и хранения, направленных на снижение негативных изменений содержания биологически активных соединений в плодах малины, представляют большой интерес. Более того, поскольку большая часть плодов малины подвергается промышленной переработке, выявление изменений биологически активных соединений, содержание которых может меняться в процессе переработки и хранения, предоставляет собой полезную информацию для оценки свойств конкретного конечного продукта, связанного со здоровьем.

Материалы и методы исследования. Послеуборочное хранение. Хранение в холоде. После сбора урожая свежие плоды малины хранятся недолго поскольку они имеют высокую скорость дыхания и быстро теряют твердость [21]. Прогрессирующая потеря плотности связана с потерей прочности кожуры, что приводит к размягчению плодов, что, в свою очередь, способствует возникновению плесени [22]. Исследования, проведенные по взаимосвязи между нормальными условиями хранения в холодильнике и сроком годности плодов красной малины, показали, что малину можно хранить при температуре от 1 до 2°C примерно 4 дня [23, 24]. На самом деле, сохранить эти мелкие плоды сложно и по этой причине важно знать все способы хранения, позволяющие сохранить не только сам продукт, но и его полезные свойства.

Заморозка. До недавнего времени самым популярным способом заготовки малины было консервирование, при котором улетучивается большая часть полезных веществ, и ценность ягод уменьшается. При заморозке же практически не изменяется вкус и не теряются ценные свойства продукта. Кроме того, хранение в замороженном виде, представляет собой способ хранения малины в течение более длительного времени, что делает ее доступной круглый год. Обычно для замороженного хранения используется температура около -20°C.

Методы обработки. сублимационная сушка, сушка горячим воздухом, сушка тепловым насосом.

Результаты и их обсуждение. Ранее сообщалось, что использование различных температур хранения по-разному влияет на содержание биологически активных соединений. Изменение содержания некоторых важных биологически активных соединений свежих плодов малины при различных условиях хранения представлены в таблице 1. Общее содержание фенолов, а также антиоксидантная активность относительно стабильны при хранении свежих плодов при низких температурах (1–2°C), тогда как при хранении плодов при 5°C уровень аскорбиновой кислоты падает (таблица 1). Хранение же в течение 1 года приводит к уменьшению содержания практически всех биологически активных соединений, тогда как антиоксидантная активность остается стабильной.

Таблица 1.

Изменение содержания некоторых важных биологически активных соединений свежих плодов малины при различных условиях хранения

Условия хранения	Содержание биологически активных соединений
хранение при 1–2°C	фенолы (↑↓)
	антоцианы (↑)
	эллаговая кислота (без изменений)

	аскорбиновая кислота (без изменений)
	антиоксидантная активность (без изменений)
хранение при 5°C	фенолы (без изменений)
	антоцианы (↑)
	эллаговая кислота (↑)
	аскорбиновая кислота (↓)
хранение в течение 1 года	антиоксидантная активность (↑)
	фенолы (↑)
	антоцианы (↓)
	эллаговая кислота (↓)
	аскорбиновая кислота (↓)
	антиоксидантная активность (без изменений)

Среди различных биологически активных соединений в малине антоцианы важны для органолептических характеристик данных плодов. Было установлено, что общее содержание антоцианов увеличивается во время хранения, независимо от температуры [23]. Кроме того, получены противоречивые данные о влиянии температуры хранения на содержание фенолов в малине. Важно отметить, что при хранении в холодильнике потеря веса плодов может повлиять на правильную оценку биологически активных соединений в пересчете на сырую массу и на это следует обращать внимание при оценке влияния хранения на содержание биологически активных соединений. Кроме того, было установлено, что при хранении на холоде может происходить снижение содержания органических кислот, что делает доступным углеродный скелет для синтеза полифенолов [25].

Другим важным биологически активным соединением в малине является аскорбиновая кислота и ее содержание в свежей малине, хранящейся при температуре от 1 до 2°C является относительно стабильным [23]. Однако его содержание строго зависит от температуры хранения. Так, при относительно более высоких температурах (около 5°C) содержание аскорбиновой кислоты немного уменьшается, что, скорее всего, связано с более высокой скоростью окисления этого соединения, которая может происходить при данной температуре (таблица 1).

Изменение температуры хранения, а также изменение концентрации O₂ и CO₂ широко используются для продления сроков хранения фруктов, значительно подавляя гниение [26]. Хотя имеется много информации о влиянии данных факторов на срок годности некоторых ягод (например, черники и клубники), литературных данных по хранению малины практически нет. Предыдущие исследования, проведенные по влиянию концентрации O₂ и CO₂ на сроки хранения малины, подтвердили увеличение срока хранения ягод (> 50%), задержку гниения плодов при использовании от 10 до 35% O₂ и от 15 до 45% CO₂ [27]. Лучшие результаты по сохранению биологически активных соединений в малине связаны с более низкими концентрациями O₂, которые уменьшают окислительные реакции, происходящие во время хранения фруктов.

Было установлено, что общее содержание фенолов и общая антиоксидантная активность практически не изменились после 12 месяцев хранения в замороженном состоянии, хотя содержание эллаговой и аскорбиновой кислот значительно уменьшилось (таблица 1). Снижение содержания свободной эллаговой кислоты, наблюдаемое при хранении в замороженном виде красной малины, может быть связано со способностью этой кислоты действовать в качестве хелатирующего агента с Mg⁺² и

Ca²⁺ или с действием связанной полифенолоксидазы в клеточной стенке, которая, по-видимому, разрушается кристаллами льда [28].

Другими авторами были получены данные о том, что после 12 месяцев хранения в замороженном виде общее содержание фенолов в плодах малины увеличилось [29]. Было сделано предположение, что увеличение содержания фенолов связано с разрушением клеточных структур кристаллами льда, что делает эти соединения более доступными во время экстракции. Также наблюдалось снижение общего содержания антоцианов у некоторых сортов малины после хранения в замороженном состоянии, в то время как у других оно осталось неизменным, что свидетельствует о различном влиянии температуры замораживания на генотип и тип химической структуры содержащегося в нем антоцианина. Например, цианидин-3-глюкозид гораздо более подвержен деградации при хранении в замороженном состоянии, чем другие производные на основе цианидина, особенно дигликозидные антоцианы.

Потеря содержания антоцианов из-за реакций окисления или конденсации с другими фенольными соединениями не влияет на антиоксидантную активность, поскольку она обычно сохраняется или увеличивается после хранения в замороженном состоянии. Это может быть связано с интерференцией или ассоциацией фенольных соединений и продуктов разложения антоцианов.

Методы обработки. Соки. Малиновый сок является коммерчески важным продуктом, который употребляют в чистом виде или чаще всего смешивают с другими фруктовыми соками для улучшения их цвета и вкуса поскольку соки красного цвета очень ценятся потребителями [30]. Фруктовый сок является результатом сложного промышленного процесса, в котором размороженные фрукты проходят ряд операций (дробление, прессование, ферментативную обработку, термическую/нетермическую обработку, осветление/фильтрацию) для получения конечного продукта. Все эти операции снижают содержание антиоксидантных соединений в соке по сравнению с их уровнем в свежих фруктах. Потери биоактивных химических соединений при переработке сока должны быть сведены к минимуму, чтобы сохранить полезные для здоровья свойства. Интересный эксперимент, проведенный *Sojka et al.* с соком красной малины показал, что около 68% всех антоцианов, 12% эллаготанинов и 17% флаваноидов сохранялись во фруктовом соке по сравнению со свежим материалом [31]. Это указывает на то, что промышленные процессы, проведенные для получения сока малины, привели к значительному снижению биологически активных соединений. Как правило, хорошо известно, что высокие температуры, используемые для получения сока, отрицательно влияют на его пищевые качества, разрушая необходимые питательные вещества и полифенолы [17]. По этой причине необходимы новые технологии, которые могут сохранить качество питательных веществ, а также безопасность пищевых продуктов. Например, высокое гидростатическое давление является относительно новой технологией, которую можно использовать вместо термических процессов, таких как пастеризация. Однако исследований по использованию этой технологии при производстве сока из малины не проводилось, но хорошо известно, что оно обеспечивает высокое сохранение биологически активных соединений [17, 32].

Таблица 2.

Изменение содержания некоторых биологически активных соединений при различных способах обработки свежих плодов малины

Способ обработки	Условия обработки	Содержание биологически активных соединений
отжим сока	ферментативная обработка	фенолы (↓) антоцианы (↓) эллаговая кислота (↓)

		аскорбиновая кислота (↓) антиоксидантная активность (↓)
сублимационная сушка	-50 °С	фенолы (↑↓) антоцианы (↑↓) эллаговая кислота (↓) аскорбиновая кислота (↓) антиоксидантная активность (↓)
сушка горячим воздухом	65 °С	фенолы (↓) антоцианы (↓) эллаговая кислота (↓) аскорбиновая кислота (↓) антиоксидантная активность (↓)
сушка с использованием теплового насоса	30–35 °С	фенолы (↓) антоцианы (↓) эллаговая кислота (↓) аскорбиновая кислота (↓) антиоксидантная активность (↓)

Сублимационная сушка. Лиофилизация считается наиболее эффективным методом сохранения качества пищевых продуктов [33]. При лиофилизации фрукты сушат в вакууме при низких температурах, сохраняя содержание биологически активных соединений практически в неизменном виде по сравнению с другими методами сушки. Одни авторы подтверждают эффективность лиофилизации в сохранении биоактивных химических соединений в лиофилизированной ткани плодов малины, в некоторых случаях даже повышая содержание фенолов по сравнению со свежими ягодами (таблица 2) [34]. Другими же авторами были получены данные уменьшения общего содержания фенолов, уровней антоцианов и способности поглощать радикалы после сушки вымораживанием, в то время как содержание аскорбиновой кислоты оставалось неизменным, вероятно, из-за очень низкой температуры и ограниченного доступа кислорода в процессе сушки (таблица 2) [35]. Противоположный эффект также был обнаружен и с другими фруктами и овощами [36]. В целом, нет четкого объяснения причин, по которым уровень биоактивных соединений снижается, увеличивается или остается неизменными во время лиофилизации, поскольку антиоксиданты очень чувствительны к свету, кислороду, температуре и pH, а также могут разлагаться под действием ферментов [36, 37]. Однако среди методов сушки лиофильная сушка в настоящее время является наиболее эффективной для сохранения содержания биологически активных соединений, но ее самым большим недостатком является высокая стоимость, что затрудняет ее использование в пищевой промышленности.

Сушка горячим воздухом. Технология сушки горячим воздухом представляет собой наиболее экономичную и распространенную технологию сушки пищевых продуктов, в том числе малины, несмотря на высокую температуру и длительное время сушки. В процессе сушки пищевые продукты подвергаются воздействию горячего воздуха и кислорода. Эта комбинация кислорода и более высоких температур даже на короткое время приводит к большим потерям биоактивных соединений [16]. Поэтому необходимо найти разумный компромисс между температурой и продолжительностью всего процесса сушки, чтобы сделать его приемлемым вариантом.

Многие исследования метода сушки горячим воздухом, проведенные с малиной использовали температуру 65°C для оценки влияния данного метода на содержание биологически активных соединений (таблица 2) [16, 38]. Установлено, что высокая температура при сушке горячим воздухом негативно влияет на содержание аскорбиновой кислоты (таблица 2). Также было установлено, что сушка горячим воздухом отрицательно влияет на содержание фенолов в плодах малины (таблица 2). Это явление, вероятно, связано с термическим разложением фенольных соединений в процессе сушки. Действительно, продуктами термического разложения антоцианов являются бесцветный карбинол и халкон, которые вызывают потерю цвета сухих фруктов (таблица 2).

Некоторые авторы, сравнивая различные методы сушки, обнаружили более высокое содержание некоторых фенолов в плодах малины при сушке на открытом воздухе, а не при сублимационной сушке, тогда как антоцианы всегда уменьшались при воздушной сушке [16, 38]. Тем не менее, увеличение общего содержания фенолов в воздушно-сухих фруктах по сравнению с сублимированными фруктами, скорее всего, связано с высвобождением связанных фенольных групп или большим разрушением ткани более высокими температурами, позволяющими увеличить экстракцию фенольных молекул. Без сомнения, этот метод отличается более низкой стоимостью по сравнению со сложными технологиями (например, сублимационной сушкой), но метод сушки горячим воздухом имеет значительные ограничения в сохранении питательных свойств малины.

Сушка тепловым насосом. Сушка тепловым насосом более экологична и экономична, чем традиционные методы сушки горячим воздухом, что приводит к снижению производственных затрат. Процесс относительно прост. Воздух с низким содержанием влаги подается в сушильную камеру для поглощения влаги из фруктов. Влага из воздуха удаляется путем конденсации при низкой температуре (от -20 до 15 °C) с помощью осушителя, а затем нагревается для запуска нового цикла. Более низкие температуры сушки по сравнению с обычными системами сушки горячим воздухом потенциально обеспечивают лучшее качество высушенного продукта, в котором сохраняются высокие концентрации фенолов и аскорбиновой кислоты [39]. Однако, в настоящее время нет достаточных данных о влиянии сушки тепловым насосом на биологически активные соединения плодов малины, что вызывает необходимость понять, может ли этот новый процесс заменить традиционные методы.

С этой целью был проведен эксперимент для оценки влияния сушки тепловым насосом плодов малины на общее содержание фенолов, антоцианов, аскорбиновой кислоты и общую антиоксидантную активность по сравнению с обработкой горячим воздухом при 65°C. Было установлено, что общее содержание фенолов значительно уменьшилось после обезвоживания как горячим воздухом, так и тепловым насосом по сравнению со значениями, зарегистрированными в свежем материале (таблица 2). Однако снижение содержания фенолов, вызванное обоими способами сушки, можно объяснить двумя различными причинами. Во время обычного процесса фенолы могут подвергаться термическому разложению [13]. Во время же сушки тепловым насосом, который характеризуется более низкими температурами, снижение содержания фенолов, скорее всего, связано с ферментативным расщеплением [40].

Заключение. В целом, рассмотренные технологии переработки и хранения красной малины показали различное влияние каждого метода обработки и хранения на конечное содержание биологически активных соединений. Их содержание относительно стабильно при хранении в холоде или в замороженном состоянии. Среди способов сушки метод сублимационной сушки является наилучшим способом переработки для сохранения содержания биологически активных соединений, но он требует больших затрат. Обычный метод сушки горячим воздухом, который чаще всего

используется в пищевой промышленности является наилучшим методом сушки в плане сохранения содержания биологически активных соединений (особенно антоцианов и аскорбиновой кислоты). Новые технологии, такие как сушка тепловым насосом, который дешевле традиционных методов, становится многообещающим процессом для сохранения содержания биологически активных соединений в сушеных ягодах. Однако вопросы изменения количества и профиля биологически активных соединений в плодах малины, подвергшихся сушке, требуют дальнейшего изучения. Таким образом, будущие исследования по этой теме должны представлять собой углубленный анализ на молекулярном уровне с использованием разного времени сушки, температуры, а также новых возможных комбинаций различных методов сушки. Эти исследования станут основой для разработки новых методов промышленной обработки плодов малины.

Благодарности. Работа выполнена в рамках научно-технической программы НТП «Разработка технологии по обеспечению сохранности качества с/х сырья и продуктов переработки в целях снижения потерь при различных способах хранения» на 2021-2023 годы ИРН BR10765062 «Разработка технологий хранения плодов и винограда сортов отечественной селекции с целью получения органической продукции».

Литература:

1. Mayara Schulz, Josiane Freitas Chim, Nutritional and bioactive value of Rubus berries, Food Bioscience, Vol. 31, 2019, 100438, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>.
2. Jia-Yun SHENG, Si-Qi WANG, Kao-Hua LIU, Bo ZHU, Qiao-Yan ZHANG, Lu-Ping QIN, Jian-Jun WU, Rubus chingii Hu: an overview of botany, traditional uses, phytochemistry, and pharmacology, Chinese Journal of Natural Medicines, Vol 18, Issue 6, 2020, Pages 401-416, [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(20\)30048-0](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(20)30048-0).
3. Débora Gonçalves Bortolini, Giselle Maria Maciel, Isabela de Andrade Arruda Fernandes, Raquel Rossetto, Tatiane Brugnari, Valéria Rampazzo Ribeiro, Charle Windson Isidoro Haminiuk, Biological potential and technological applications of red fruits: An overview, Food Chemistry Advances, Volume 1, 2022, 100014, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100014>.
4. Akhunzada Bilawal, Muhammad Ishfaq, Munkh-Amgalan Gantumur, Abdul Qayum, Rujie Shi, Saqib Ali Fazilani, Asif Anwar, Zhanmei Jiang, Juncai Hou, A review of the bioactive ingredients of berries and their applications in curing diseases, Food Bioscience, Volume 44, Part A, 2021, 101407, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101407>.
5. Graham, J.; Brennan, R. Raspberry: Breeding, Challenges and Advances; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018; ISBN 978-3-319-99030-9.
6. Nora Pap, Marina Fidelis, Luciana Azevedo, Mariana Araújo Vieira do Carmo, Dongxu Wang, Andrei Mocan, Eliene Penha Rodrigues Pereira, Douglas Xavier-Santos, Anderson S Sant'Ana, Baoru Yang, Daniel Granato, Berry polyphenols and human health: evidence of antioxidant, anti-inflammatory, microbiota modulation, and cell-protecting effects, Current Opinion in Food Science, Volume 42, 2021, Pages 167-186, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.06.003>.
7. Yang, J.; Cui, J.; Chen, J.; Yao, J.; Hao, Y.; Fan, Y.; Liu, Y. Evaluation of physicochemical properties in three raspberries (*Rubus idaeus*) at five ripening stages in northern China. *Sci. Hort.* 2020, 263, 109146
8. Mazur, S.P.; Nes, A.; Wold, A.B.; Remberg, S.F.; Aaby, K. Quality and chemical composition of ten red raspberry (*Rubus idaeus* L.) genotypes during three harvest seasons. *Food Chem.* 2014, 160, 233–240.
9. Е. В. Жбанова Плоды малины *Rubus idaeus* L. как источник функциональных ингредиентов (обзор Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 1, С. 1-14.

10. Sivakumaran, S.; Huffman, L.; Sivakumaran, S.; Drummond, L. The nutritional composition of Zespri® SunGold kiwifruit and Zespri® Sweet Green kiwifruit. *Food Chem.* 2018, 238, 195–202
11. FAO. Global Food Losses and Food Waste—Extent, Causes and Prevention; FAO: Rome, Italy, 2011.
12. Forney, C.F.; Jamieson, A.R.; Munro Pennell, K.D.; Jordan, M.A.; Fillmore, S.A.E. Relationships between fruit composition and storage life in air or controlled atmosphere of red raspberry. *Postharvest Biol. Technol.* 2015, 110, 121–130.
13. Si, X.; Chen, Q.; Bi, J.; Wu, X.; Yi, J.; Zhou, L.; Li, Z. Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders: Effect of drying method on properties of raspberry powders. *J. Sci. Food Agric.* 2016, 96, 2055–2062.
14. Sadowska, K.; Andrzejewska, J.; Klóska, Ł. Influence of freezing, lyophilisation and air-drying on the total monomeric anthocyanins, vitamin C and antioxidant capacity of selected berries. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2017, 52, 1246–1251.
15. Tian Lan, Jiaqi Wang, Shihan Bao, Qinyu Zhao, Xiangyu Sun, Yulin Fang, Tingting Ma, Shuwen Liu Effects and impacts of technical processing units on the nutrients and functional components of fruit and vegetable juice, *Food Research International*, Vol. 168, 2023, 112784, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112784>
16. Bustos, M.C.; Rocha-Parra, D.; Sampedro, I.; de Pascual-Teresa, S.; León, A.E. The influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries. *J. Agric. Food Chem.* 2018, 66, 2714–2723.
17. Weber, F.; Larsen, L.R. Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability. *Food Res. Int.* 2017, 100, 354–365.
18. Yumin Duan, Ayon Tarafdar, Deepshi Chaurasia, Anuradha Singh, Preeti Chaturvedi Bhargava, Jianfeng Yang, Zelin Li, Xinhua Ni, Yuan Tian, Huike Li, Mukesh Kumar Awasthi Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review, *International Journal of Food Microbiology*, Vol. 381, 2022, 109890, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109890>
19. Nazila Ghareaghajlou, Somayeh Hallaj-Nezhadi, Zahra Ghasempour Red cabbage anthocyanins: Stability, extraction, biological activities and applications in food systems, *Food Chemistry*, Volume 365, 2021, 130482, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130482>
20. Sandra Peñaloza, Cornelio Delesma, Jesús Muñoz, A. López-Ortiz The anthocyanin's role on the food metabolic pathways, color and drying processes: An experimental and theoretical approach, *Food Bioscience*, Volume 47, 2022, 101700, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101700>.
21. Krüger, E.; Dietrich, H.; Schöppl, E.; Rasim, S.; Kürbel, P. Cultivar, storage conditions and ripening effects on physical and chemical qualities of red raspberry fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 2011, 60, 31–37.
22. Oduse, K.A.; Cullen, D. An investigation into the fruit firmness properties of some progeny and cultivars of red raspberry (*Rubus idaeus*). *J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol.* 2012, 1, 4–12.
23. Giuffrè, A.M.; Louadj, L.; Rizzo, P.; De Salvo, E.; Sicari, V. The Influence of film and storage on the phenolic and antioxidant properties of red raspberries (*Rubus idaeus* L.) cv. Erika. *Antioxidants* 2019, 8, 254.
24. Cortellino, G.; De Vecchi, P.; Lo Scalzo, R.; Ughini, V.; Granelli, G.; Buccheri, M. Ready-to-eat raspberries: Qualitative and nutraceutical characteristics during shelf-life. *Adv. Hort. Sci.* 2018, 399–406.

25. Häkkinen, S.H.; Kärenlampi, S.O.; Mykkänen, H.M.; Heinonen, I.M.; Törrönen, A.R. Ellagic acid content in berries: Influence of domestic processing and storage. *Eur. Food Res. Technol.* 2000, *212*, 75–80.
26. Šamec, D.; Piljac-Žegarac, J. Fluctuations in the levels of antioxidant compounds and antioxidant capacity of ten small fruits during one year of frozen storage. *Int. J. Food Prop.* 2015, *18*, 21–32
27. Priscilla M. Reque, Rosana S. Steffens, André Jablonski, Simone H. Flôres, Alessandro de O. Rios, Erna V. de Jong, Cold storage of blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity, *Journal of Food Composition and Analysis*, Volume 33, Issue 1, 2014, Pages 111-116, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.007>
28. Yang, M.; Ban, Z.; Luo, Z.; Li, J.; Lu, H.; Li, D.; Chen, C.; Li, L. Impact of elevated O₂ and CO₂ atmospheres on chemical attributes and quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) during storage. *Food Chem.* 2020, *307*, 125550.
29. González-Orozco, B.D.; Mercado-Silva, E.M.; Castaño-Tostado, E.; Vázquez-Barrios, M.E.; Rivera-Pastrana, D.M. Effect of short-term controlled atmospheres on the postharvest quality and sensory shelf life of red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *CyTA-J. Food* 2020, *18*, 352–358.
30. Allan, A.C.; Espley, R.V. MYBs drive novel consumer traits in fruits and vegetables. *Trends Plant Sci.* 2018, *23*, 693–705.
31. Sójka, M.; Macierzyński, J.; Zaweracz, W.; Buczek, M. Transfer and mass balance of ellagitannins, anthocyanins, flavan-3-ols, and flavonols during the processing of red raspberries (*Rubus idaeus* L.) to juice. *J. Agric. Food Chem.* 2016, *64*, 5549–5563.
32. Jiménez-Sánchez, C.; Lozano-Sánchez, J.; Segura-Carretero, A.; Fernández-Gutiérrez, A. Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 1: Techniques and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017, *57*, 501–523.
33. Harguindeguy, M.; Fissore, D. On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review. *Dry. Technol.* 2020, *38*, 846–868
34. Sablani, S.S.; Andrews, P.K.; Davies, N.M.; Walters, T.; Saez, H.; Bastarrachea, L. Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. *Dry. Technol.* 2011, *29*, 205–216.
35. Ratti, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *J. Food Eng.* 2001, *49*, 311–319.
36. Caritá, A.C.; Fonseca-Santos, B.; Shultz, J.D.; Michniak-Kohn, B.; Chorilli, M.; Leonardi, G.R. Vitamin C: One compound, several uses. Advances for delivery, efficiency and stability. *Nanomedicine Nanotechnol. Biol. Med.* 2020, *24*, 102117.
37. Rodriguez, A.; Rodriguez, M.M.; Lemoine, M.L.; Mascheroni, R.H. Study and comparison of different drying processes for dehydration of raspberries. *Dry. Technol.* 2017, *35*, 689–698.
38. Si, X.; Chen, Q.; Bi, J.; Wu, X.; Yi, J.; Zhou, L.; Li, Z. Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders: Effect of drying method on properties of raspberry powders. *J. Sci. Food Agric.* 2016, *96*, 2055–2062.
39. Ong, S.P.; Law, C.L. Drying kinetics and antioxidant phytochemicals retention of salak fruit under different drying and pretreatment conditions. *Dry. Technol.* 2011, *29*, 429–441.
40. Queiroz, C.; Mendes Lopes, M.L.; Fialho, E.; Valente-Mesquita, V.L. Polyphenol oxidase: Characteristics and mechanisms of browning control. *Food Rev. Int.* 2008, *24*, 361–375.