

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ И АНТОЦИАНОВ В ЯГОДАХ КЛУБНИКИ

А.Б. АЛЬДИЕВА* , Д.Д. ХАМИТОВА 

(НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина»,
Казахстан, 010000, г. Астана, проспект Женис 62)

Электронная почта автора корреспондента: akylinaakmaral@mail.ru*

Ягоды клубники - ценный продукт, богатый витаминами, антоцианами и полифенольными соединениями, оказывающими антиоксидантное воздействие на здоровье человека. Однако из-за быстрой порчи и сезонной доступности ягод, вопросы их длительного хранения являются весьма актуальными. Одним из современных способов переработки ягод с целью сохранения их свойств при хранении является сублимационная сушка. Так как процесс сушки может влиять на внешний вид, содержание питательных веществ и антиоксидантную активность ягод, целью данной работы было изучение влияния параметров сублимационной сушки на содержание антоцианов и полифенолов в ягодах клубники сорта «Альбион». Температура нагрева полок сублиматора при досушивании составила 35 °С, 40 °С, 45 °С, 50 °С, а время процесса сублимации 18, 20, 22 часа. Установлено, что температура полок 45 °С и длительность сушки 18 часов являются оптимальными и позволяют сохранить не только первоначальные органолептические показатели клубники, но и высокое содержание антоцианов, так количество антоцианов снизилось на 8,4 % в сравнении со свежей ягодой, содержание полифенолов на 3,9 %, сохраняя высокую антиоксидантную активность ягод клубники.

Ключевые слова: сублимационная сушка, полифенолы, антоцианы, ягоды клубники, антиоксидантная активность.

МҰЗДАТЫП КЕПТІРУ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ҚҰЛПЫНАЙДАҒЫ ПОЛИФЕНОЛДАР МЕН АНТОЦИАНДАРДЫҢ ҚҰРАМЫНА ӘСЕРІ

А.Б. АЛЬДИЕВА*, Д.Д. ХАМИТОВА

(«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті», Қазақстан, Астана қ., 010000, Женис 62)
Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: akylinaakmaral@mail.ru

Құлпынай - дәрумендерге, антоцианиндерге және полифенол қосылыстарына бай, адам денсаулығына антиоксидантты әсер ететін құнды өнім. Алайда, жидектердің тез бұзылуы мен маусымдық қол жетімділігіне байланысты оларды ұзақ уақыт сақтау мәселелері өте өзекті болып табылады. Сақтау кезінде олардың қасиеттерін қорғау үшін жидектерді өңдеудің заманауи әдістерінің бірі - сублимация арқылы кептіру қолданылады. Сублимациялық кептіру процесі жидектердің сыртқы түріне, қоректік заттары мен антиоксиданттық белсенділігіне әсер ететіндіктен, бұл жұмыстың мақсаты сублимациялық кептіру параметрлерінің Альбион құлпынайындағы антоцианиндер мен полифенолдардың құрамына әсерін зерттеу болды. Сублимациялық кептіру сөрелердің қыздыру температурасы 35 °С, 40 °С, 45 °С, 50 °С және ұзақтығы 18, 20, 22 сағат болған кезде жүргізілді. Сөрелердің оңтайлы температурасы 45 °С және кептіру ұзақтығы 18 сағат болып табылады және құлпынайдың бастапқы органолептикалық көрсеткіштерін ғана емес, сонымен қатар антоцианиндердің жөғары мөлшерін сақтауға мүмкіндік береді, сондықтан антоцианиндердің саны жаңа піскен жидектермен салыстырғанда 8,4% - га, полифенолдардың мөлшері 3,9% - га төмендеді, құлпынай жидектерінің жөғары антиоксиданттық белсенділігін сақтайды.

Негізгі сөздер: сублимациялық кептіру, полифенолдар, антоцианиндер, құлпынай, антиоксиданттық белсенділік.

INFLUENCE OF FREEZE-DRYING PARAMETERS ON THE CONTENT OF POLYPHENOLS AND ANTHOCYANINS IN STRAWBERRIES

A.B. ALDIYEVA*, D.D. KHAMITOVA

(Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis avenue, 62, Astana 010000, Kazakhstan;)

Corresponding author e-mail: akylinaakmaral@mail.ru*

Strawberry berries are a valuable product rich in vitamins, anthocyanins, and polyphenolic compounds that have antioxidant effects on human health. However, due to the deterioration and seasonal availability, the issue of their long-term storage is highly relevant. Freeze-drying, a modern preservation method, preserves their properties during storage. Since the drying process can affect the appearance, nutrient content, and antioxidant activity of berries, the purpose of this study was to investigate the effects of freeze-drying parameters on the content of anthocyanins and polyphenols in Albion variety strawberries. The heating temperatures of the freeze-drying were 35°C, 40°C, 45°C, and 50°C, and the sublimation process times were 18, 20, and 22 hours. Optimal conditions were found: a shelf temperature of 45°C and 18 hours of drying. These conditions preserved both the strawberries' initial qualities and their high anthocyanin content, with only an 8.4% decrease. Similarly, polyphenol content decreased by 3.9%, while the strawberries maintained strong antioxidant activity.

Keywords: Freeze drying, polyphenols, anthocyanins, strawberry berries, antioxidant activity.

Введение

Ягоды являются источником питательных веществ, пищевых волокон, витаминов и микроэлементов, необходимых для здорового образа жизни [1]. Одной из самых популярных ягод в мире является клубника. Ягоды клубники приятные на вкус, богатые питательными веществами и природными антиоксидантами, важными компонентами которых являются антоцианы и полифенолы [2, 3]. За счет содержания полифенолов ягода клубники обладает лечебно-профилактическим действием [4]. Антоцианы отвечают за цвет плодов и их полезные свойства, высокое потребление антоцианов, содержащихся в клубнике, может снизить риск развития инфаркта миокарда [5]. Полифенолы отвечают за сенсорные и питательные качества ягод, они очень разнообразны по структуре, физико-химическим и биологическим свойствам. Эти соединения являются отличными антиоксидантами [6, 7, 8].

Исследования антиоксидантов в ягодах вызывают большой интерес в связи с их потенциальным защитным действием в предотвращении сердечно-сосудистых заболеваний у человека [9, 10].

Однако свежие ягоды доступны сезонно и подлежат быстрой порче, в связи с этим их консервируют или удаляют влагу (сушат), что позволяет ингибировать микробную порчу и активность ферментов и, следовательно, продлевать срок годности ягод [1].

Существуют разные методы сушек, однако они могут изменить органолептические, фи-

зические, текстурные, функциональные свойства ягод и антиоксидантную способность [11].

Так как ягоды клубники являются термочувствительными, одним из лучших методов сушки для них, является сублимационная сушка - сушка вымораживанием. Преимущества сублимационной сушки заключаются в щадящем обезвоживании в условиях высокого вакуума, при низких температурах, сохраняя большинство исходных свойств ягод, цвет, текстуру, вкус и аромат, витамины, антоцианов и полифенолы [11,12,13,14]. Несмотря на свою способность обеспечивать высокое качество продукта, сублимационная сушка является дорогостоящим процессом, что ограничивает ее применение [15]. В связи с этим требуется подбор наиболее оптимальных условий сушки, с целью снижения затрат на процесс сушки (температура нагрева полок и время сушки) при которых максимально сохранится качество ягод и содержание в них ценных биологически активных веществ. В исследованиях Li Y и соавторов [16] была проведена сушка облепихи четырьмя разными способами, в том числе и методом сублимационной сушки, по сравнению с другими методами, сублимация показала лучшие результаты при сохранении активных компонентов, антиоксидантной активности и общего состава полифенолов.

Michalczyk M. и соавторы проводили исследования по традиционной сушке при +40°C и сублимационной сушке при +35°C в течение 24 часов ягод малины и клубники, в результате которых выявлено, что сублимационная сушка была гораздо более эффективной для сохране-

ния ценных соединений, чем традиционная воздушная сушка [17]. В исследованиях Hasbullah R. и соавторов была проведена сублимационная сушка клубники при температуре $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 12 часов, 24 часов и 36 часов, основными наблюдаемыми параметрами были скорость сушки, содержание влаги, общее количество растворенных твердых веществ и т.д. [18]. В исследованиях Vięnaska V. и соавторов был проведен анализ влияния предварительной обработки и температуры сушки на кинетику сублимационной сушки ягод клубники, порезанной ломтиками и измельченной в пюре [19]. Сублимированные ягоды полезны для людей, страдающих сахарным диабетом. В ранее проведенных исследованиях Stoner G. D и соавторов имеется информация о том, что сублимированные ягоды используются в качестве химиопротективных средств [20].

В настоящее время недостаточно исследований по определению полифенолов и антоцианов при сублимационной сушке в целых ягодах клубники.

По данным исследовательского агентства Mordor Intelligence, мировой рынок сублимированных продуктов ежегодно увеличивается и по прогнозу на период 2022–2027 гг. среднегодовой темп роста может составить 8,5% [21]. Крупные производства сублимированных продуктов имеются в США, Бразилии, Германии, Франции, Италии, Китае. В Казахстане данное направление слабо развито, и большая часть сублимированных продуктов импортируется из других стран.

Целью настоящей работы было определение влияния параметров сублимационной сушки на содержание полифенолов, и антоцианов в целой ягоде клубники.

Материалы и методы исследований

Объектом исследований являлась клубника сорта «Альбион».

Вакуумную сублимационную сушку клубники осуществляли в сублиматоре СБ 2 (Россия). Температура внутри ягод после предварительного замораживания составляла $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Замороженные ягоды размещали на металлических противнях. Температура десублиматора $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура нагрева полок при досушивании $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, время сублимации 18, 20, 22 часа.

Органолептический анализ был проведен по ГОСТ ISO 13299-2015. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля.

Определение общего количества антоцианов проводилось спектрофотометрическим методом, согласно методике Benvenuti S. 2004 [22], в качестве стандарта использовали цианидин-3-глюкозид. Экстракты разбавляли до объема 100 мл двумя буферами с pH 1.0 и pH 4.5. После 20-минутной инкубации при комнатной температуре измеряли поглощение при 510 и 700 нм. Содержание антоцианов рассчитывали, используя молярный коэффициент экстинкции цианидин-3-глюкозида, равный 26900, молекулярную массу 449.2 и коэффициент поглощения $A = (A_{510} - A_{700})\text{ pH } 1.0 - (A_{510} - A_{700})\text{ pH } 4.5$;

Спектрофотометрическим методом с помощью реактива Фолина-Чокалтеу, описанного Stankovic M.S и другие [23], проведено определение общего содержания полифенолов, в качестве стандарта использовали галловую кислоту. Абсорбция раствора определялась при длине волны 750 нм. Результаты были выражены в мг эквивалентов галловой кислоты на 100 г сухого веса.

Результаты и их обсуждение

Одним из важных способов оценки качества продуктов являются их органолептические свойства, включающие такие показатели как внешний вид, цвет, запах и вкус. В результате проведенных исследований выявлено, что сублимационная сушка ягод клубники сорта «Альбион» вызывает изменения органолептических свойств готовых продуктов (табл. 1).

Согласно данным, приведенным в таблице 1, установлено, что увеличение времени и температуры сушки приводит к ухудшению органолептических показателей. Так, при температуре сушки $45\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ продолжительностью 20 и 22 часа фиксируются нежелательные привкус и запах горечи. При параметрах сушки $35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$, длительностью 18 часов ягода была не досушена.

Органолептическая оценка показала, что для ягоды клубники оптимальным является сушка при температуре $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, длительностью сушки 18 часов. При данных условиях сушки ягода была полностью высушена, ее структура, цвет и аромат остались неизменными.

Данные органолептического анализа согласуются с результатами исследований по содержанию в сублимированной ягоде антоцианов и полифенолов (табл. 2). Так, при увеличении температуры и времени сушки содержание антоцианов и полифенолов склонно снижалось.

Таблица 1 - Органолептические показатели сублимированных ягод клубники

Показатель	Время сублимации в ч	Температура полки при сублимации, °С			
		35	40	45	50
Внешний вид	18	Не досушена		Сухая, не осыпается	
	20	Высушена		Пересушена, осыпается	
	22	Высушена		Пересушена, осыпается	
Цвет	18	Свойственный клубнике			
	20				
	22	Свойственный клубнике		Темный оттенок	
Вкус и запах	18	Вкус и запах свежей ягоды, без посторонних запахов		Небольшая горечь	
	20	Вкус и запах свежей ягоды, без посторонних запахов		Привкус горечи, неприятный запах	
	22	Вкус и запах свежей ягоды посторонних запахов		Привкус горечи, неприятный запах	

При максимальной температуре полок 50 °С и времени 22 часа количество антоцианов снизилось на 28,3% по сравнению со свежей ягодой, а полифенолов на 15,7%, а также согласно исследованиям органолептических показателей ягоды клубники, при данных параметрах были пересушены, как показано в таблице 1. В то время как при температуре полок 35 °С, времени сушки 18 часов отмечено незначительное снижение содержания антоцианов на 5,3%, а ко-

личество полифенолов на 2%, что говорит о максимальном сохранении данных веществ, однако ягоды клубники при данных параметрах были не досушены. При температуре полок 45 °С, в течение 18 часов, антоцианы снизились на 8,4 % в сравнении со свежей ягодой, содержание полифенолов на 3,9 %, что свидетельствует о незначительном снижении данных веществ, при этом, органолептические показатели этих ягод остались высокими.

Таблица 2 - Содержание антоцианов и полифенолов в сублимированных ягодах клубники при различных температурных режимах сушки, г/100г (с перерасчетом на сухое вещество)

Наименование	Время сублимации, ч	Температура полки при сублимации, °С			
		35	40	45	50
Антоцианы	Свежие ягоды клубники	10.05±0.016			
	18	9.51±0.002	9.33±0.023	9.20±0.028	7.96±0.016
	20	9.42±0.009	9.04 ±0.008	8.05±0.019	7.41±0.008
	22	9.16±0.014	8.71±0.019	7.52±0.013	7.20±0.023
Полифенолы	Свежие ягоды клубники	18.96±0.018			
	18	18.58±0.0016	18.45±0.0013	18.22±0.002	17.12±0.021
	20	17.95±0.032	17.90±0.018	16.88±0.024	16.85±0.016
	22	17.65±0.0021	16.96±0.0015	16.22±0.013	15.98±0.002

Таким образом, согласно проведенным исследованиям установлено, что с увеличением температуры нагрева полок и времени сублимационной сушки количество антоцианов и полифенолов в ягодах клубники склонно снижаться. При этом, так как процесс сушки проходил в условиях вакуума и постепенного нагрева полок, снижение было равномерным. Деградация антоцианов в процессе сушки привела к ухудшению цвета ягоды, так как известно, что антоцианы придают клубнике красный цвет. Снижение полифенолов в процессе сушки также повлияло на качество готового продукта, изменив вкус и запах ягод. Однако, надо учитывать, что кроме антоцианов и полифенолов на органолептические показатели ягод влияет содержание углеводов, органи-

ческих кислот, аминокислот, и возможно, в процессе сушки произошли биохимические изменения данных веществ, которые также вкуче привели к снижению органолептических показателей ягод клубники.

Заключение, выводы

В данной работе изучено влияние параметров сублимационной сушки на органолептические показатели, содержание антоцианов и полифенолов в ягодах клубники сорта «Альбион». В результате исследований установлено, что оптимальными параметрами для сублимационной сушки ягод клубники являются температура нагрева полок 45 °С, время сушки 18 часов. При данных режимах, ягода сохранила свои органолептические свойства, не потеряла привлекательный вид,

вкус и запах, а также максимально сохранила антиоксидантную активность (общее содержание антоцианов и полифенолов). С увеличением времени сушки 20 и более часов, с повышением температуры 45-50 °С содержания антоцианов и полифенолов снижалось, а также ухудшались органолептические показатели.

Информация о финансировании:

Данное исследование было профинансировано Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан ИРН: BR10765062 «Разработка технологии по обеспечению сохранности качества с/х сырья и продуктов переработки в целях снижения потерь при различных способах хранения».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bassey E. J., Cheng J. H., Sun D. W. Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables //Trends in Food Science & Technology. – 2021. – Т. 112. – PP. 137-148.
2. Karacam C. H., Sahin S., Oztop M. H. Effect of high-pressure homogenization (microfluidization) on the quality of Ottoman Strawberry (F. Ananassa) juice //LWT-Food Science and Technology. – 2015. – Т. 64. – №. 2. – PP. 932-937.
3. Giampieri F. et al. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health //Nutrition. – 2012. – Т. 28. – №. 1. – С. 9-19.
4. Giampieri F., Alvarez-Suarez J.M.; Battino M. Strawberry and Human Health: Effects beyond Antioxidant Activity // J.Agric. Food Chem. 2014. V. 62. PP. 3867–3876.
5. Cassidy A. et al. High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in young and middle-aged women //Circulation. – 2013. – Т. 127. – №. 2. – PP. 188-196.
6. Gündeşli, M.A., Korkmaz, N., Okatan, V. 2019. Polyphenol content and antioxidant capacity of berries: A review. Int. J. Agric. For. LifeSci., 3(2):350-361
7. Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T. and Sochor J. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Different Types of Berries // Int. J. Mol. Sci. 2015, 16, 24673-24706; doi:10.3390/ijms161024673
8. Ellis C. L. et al. Attenuation of meal-induced inflammatory and thrombotic responses in overweight men and women after 6-week daily strawberry (Fragaria) intake—a randomized placebo-controlled trial //Journal of atherosclerosis and thrombosis. – 2011. – Т. 18. – №. 4. – PP. 318-327.
9. Garzón G. A. et al. Phenolic profile, in vitro antimicrobial activity and antioxidant capacity of Vaccinium meridionale Swartz pomace //Heliyon. – 2020. – Т. 6. – №. 5. – PP. e03845.
10. Maya-Cano D. A., Arango-Varela S., Santa-Gonzalez G. A. Phenolic compounds of blueberries (Vaccinium spp) as a protective strategy against skin cell damage induced by ROS: A review of antioxidant potential and antiproliferative capacity //Heliyon. – 2021. – Т. 7. – №. 2. – PP. e06297.
11. Bustos M. C. et al. The influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries //Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2018. – Т. 66. – №. 11. – С. 2714-2723.
12. Figiel A., Michalska A. Overall quality of fruits and vegetables products affected by the drying processes with the assistance of vacuum-microwaves //International Journal of Molecular Sciences. – 2016. – Т. 18. – №. 1. – PP. 71.
13. Quispe-Fuentes I., Vega-Gálvez A., Aranda M. Evaluation of phenolic profiles and antioxidant capacity of maqui (Aristotelia chilensis) berries and their relationships to drying methods //Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2018. – Т. 98. – №. 11. – PP. 4168-4176.
14. Samoticha J., Wojdyło A., Lech K. The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries //LWT-Food Science and Technology. – 2016. – Т. 66. – PP. 484-489.
15. Stratta L. et al. Economic analysis of a freeze-drying cycle //Processes. – 2020. – Т. 8. – №. 11. – P. 1399.
16. Li Y. et al. Impact of drying methods on phenolic components and antioxidant activity of sea Buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) berries from different varieties in China //Molecules. – 2021. – Т. 26. – №. 23. – P. 7189.
17. Michalczyk M., Macura R., Matuszak I. The effect of air-drying, freeze-drying and storage on the quality and antioxidant activity of some selected berries //Journal of Food Processing and Preservation. – 2009. – Т. 33. – №. 1. – PP. 11-21.
18. Hasbullah R., Putra N. S. Study on the Vacuum Pressure and Drying Time of Freeze-drying Method to Maintain the Quality of Strawberry (Fragaria virginiana) //Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering). – 2022. – Т. 11. – №. 2. – PP. 279-291.
19. Biernacka B. et al. Influence of pretreatments and freeze-drying conditions of strawberries on drying kinetics and physicochemical properties //Processes. – 2022. – Т. 10. – №. 8. – P. 1588.
20. Stoner G. D. et al. Cancer prevention with freeze-dried berries and berry components //Seminars in cancer biology. – Academic Press, 2007. – Т. 17. – №. 5. – PP. 403-410.
21. <https://www.mordorintelligence.com/ru/industryreports/freeze-dried-food-market>
22. Benvenuti S. et al. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of Rubus, Ribes, and Aronia //Journal of food science. – 2004. – Т. 69. – №. 3. – P. FCT164-FCT169.
23. Stankovic, M. S., Zia-Ul-Haq, M., Bojovic, B. M., & Topuzovic, M. D. (2014). Total phenolics, flavonoid content and antioxidant power of leaf, flower and fruits from cornelian cherry (Cornus mas L.). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(2), 358-363.