ОБЗОРЫ

УДК 631.563:644.8

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВ
ЯДЕР ОРЕХА (*JUGLANS REGIA*) ПРИ ХРАНЕНИИ**

¹Салиева К.Т., ²Салиева З.Т., ¹Боркочев Б.М.

¹Киргизско-Турецкий университет Манас, Бишкек, e-mail: kalipa.salieva@manas.edu.kg,
bakyt.borkochev@manas.edu.kg;

²Киргизский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек,
e-mail: zsalieva@list.ru

Масло грецкого ореха пользуется большим спросом из-за высокой пищевой ценности. Однако оно легко окисляется и часто теряет свой типичный аромат. Воздействие кислорода, света, влаги и высокой температуры приводит к окислению жирных кислот и, как было установлено, является основным источником привкуса и снижения качества грецких орехов. Целью данной работы было оценить эффективность различных методов для сохранения качества ядер грецких орехов при хранении. В этом обзоре были изучены самые последние исследования, опубликованные за последние десять лет. В обзорной статье проводится анализ исследований по сохранению качества ореха при хранении различными методами: ультразвуковая экстракция, охлаждение с использованием антиоксидантных консервантов и съедобных покрытий, упаковка в модифицированной атмосфере, комбинированные методы консервации, сублимационная сушка, термообработка, обжарка. Химический состав, жирные кислоты, ненасыщенные жирные кислоты (олеиновая, пальмитолеиновая, линолевая и линоленовая кислоты), антиоксидантные компоненты (токоферолы и фитостеролы), общее содержание флавоноидов (TFC), общее содержание полифенолов (TPC), белки и минералы грецких орехов были исследованы после сублимационной сушки и в процессе тепловой сушки. Были проанализированы химические параметры, связанные с повреждением при хранении: пероксидное число (PV), конъюгированные диены (CD), сопряженные триены (CT) и содержание каротиноидов (CC). Также были проанализированы летучие соединения, связанные с окислением липидов, такие как нонаналь, гексаналь, бутаналь и (E)-2-гептеналь, которые увеличились во всех образцах во время хранения. В заключение рассматриваются перспективы и задачи исследований на будущее, а также даются рекомендации по сохранению качества ореха во время хранения.

Ключевые слова: полиненасыщенные жирные кислоты, полифенолы, флавоноиды, антиоксиданты

**PERSPECTIVE METHODS FOR PRESERVING THE QUALITY OF WALNUT
(*JUGLANS REGIA*) KERNELS DURING STORAGE**

¹Salieva K.T., ²Salieva Z.T., ¹Borkochev B.M.

¹Kyrgyz-Turkish Manas University, Faculty of Engineering, Bishkek,
e-mail: kalipa.salieva@manas.edu.kg, bakyt.borkochev@manas.edu.kg;

²Kyrgyz State Technical University named after I. Razzaqov, Bishkek, e-mail: zsalieva@list.ru

Walnut oil is in great demand due to its high nutritional value. However, it is easily oxidized and often loses its typical flavor. In the presence of oxygen, light, moisture, and high temperatures, oxidation of fatty acids can occur and has been found to be a major source of off-flavors and decreased quality in walnuts. The objective of this work was to evaluate the performance of various methods for preserving the quality of walnut kernels during storage. This review investigated the most recent studies published in the last ten years. The review article analyzes studies on the preservation of the quality of nuts during storage by various methods: ultrasonic extraction, cooling with the use of antioxidant preservatives and edible coatings, packaging in a modified atmosphere, combined preservation methods, freeze drying, heat treatment and roasting. The chemical compositions, fatty acids, unsaturated fatty acids (oleic, palmitoleic, linoleic, and linolenic acids), antioxidant components (tocopherols and phytosterols) total flavonoids content (TFC), total polyphenols content (TPC), proteins and minerals of walnuts were investigated after freeze drying and heat drying process. Chemical parameters related to deterioration were analyzed, during storage: peroxide value (PV), conjugated dienes (CD) and conjugated trienes (CT), and carotenoid content (CC). Volatile compounds were also analyzed related to oxidation of lipids such as: nonanal, hexanal, butanal, and (E)-2-heptenal increased in all samples during storage. Finally, future perspectives and research challenges are considered, and recommendations are given for maintaining the qualities of the nut during storage.

Keywords: unsaturated fatty acids, Polyphenols, Flavonoids, Antioxidants, Preservation

Индустрия производства орехов стремительно развивается в последние несколько лет. Грецкий орех (*Juglans regia*) имеет ценное, богатое маслами, ядро, содержащее витамины, антиоксиданты и многие другие метаболиты. Грецкие орехи являются отличными источниками витаминов, клетчатки,

магния и калия и, как известно, значительно богаты полиненасыщенными жирными кислотами омега-6 и омега-3, которые очень полезны для здоровья человека. Они также содержат аскорбиновую кислоту, алкалоиды, токоферолы, полифенолы, фитостерины, флавоноиды и пищевые волокна [1–2].

Потребление ореха для здоровья связано с профилактикой сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний, ишемической болезни сердца и диабета II типа [3]. Свойства орехов и пищевая ценность зависят от сорта и условий его выращивания. Кроме того, питательные составы орехов также связаны с сезоном сбора урожая [4] и условиями окружающей среды (температура) [5]. В исследованиях показано, что орехи, выращиваемые в регионах с более низкой средней максимальной годовой температурой, имеют повышенное содержание ненасыщенных жирных кислот (пальмитиновой, олеиновой и линолевой кислоты) и фитостерины (β -ситостерин) [6]. Вышеупомянутые факторы учитывались предуборочным периодом грецкого ореха. Однако во время послеуборочного периода температура становится одним из ключевых факторов, который влияет на свойства орехов [7].

Целью данной работы было оценить эффективность различных методов для сохранения качества ядер грецких орехов при хранении. В этом обзоре были изучены самые последние исследования, опубликованные за последние десять лет.

Изменения качества ореха при хранении

Ядра грецких орехов обычно содержат от 52% до 72% масла в зависимости от сорта, географического положения и скорости полива [8–9]. Это масло извлекается в небольших количествах для использования в пищевых продуктах в качестве ароматизирующего агента, в основном как заправка для салатов и в хлебобулочных изделиях. Оно также находит применение в косметической промышленности как компонент крема, средства против морщин и средства против старения [10]. Как и большинство орехов, грецкие орехи являются ценными источниками полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК; 90% масла), преимущественно линолевой (47,4%) и α -линоленовой кислоты (15,8%). Из-за своего химического состава потребление масла грецкого ореха снижает уровень холестерина в сыворотке крови человека за счёт снижения липопротеинов низкой плотности и уровня общего триацилглицерина [11], а также уменьшает риск сердечно-сосудистых заболеваний [12]. Однако эти жирные кислоты, из-за своей высокой чувствительности к окислению, ограничивают срок хранения грецких орехов. Окисление липидов влияет на качества ореха и ореховых продуктов, снижает их пищевые, сенсорные и химические свойства.

Масло грецкого ореха очень чувствительно как к термическому, так и к фотоокислительному воздействию. Учитывая, что фенольные соединения грецкого ореха могут проявлять антиоксидантную активность и улавливать свободные радикалы, использование полифенолов грецкого ореха улучшает стабильность масла грецкого ореха, увеличивает срок его хранения и помогает избежать использования синтетических антиоксидантов.

Помимо масла, грецкие орехи также содержат значительное количество сырого протеина (15,17–19,24%), углеводов (8,05–13,23%) и других биологически активных соединений, таких как растительные стеролы, пищевые волокна и полифенолы, которые могут оказывать пользу для здоровья [13]. Например, фенольные соединения в большинстве случаев связаны с антиоксидантными, антиатерогенными, противовоспалительными и антимуtagenными свойствами.

Измерено высокое содержание фенолов грецкого ореха в кожуре, покрывающей ядро. Содержание полифенолов сильно зависит от таких факторов, как температура, осадки, естественные причины (инфекции, повреждения и вредители), стадия созревания фруктов и хранение [9].

Добавление антиоксидантов в богатую липидами пищу – простая задача, а также способ уменьшения липидно-окислительных реакций. Синтетические антиоксиданты, такие как бутилированный гидрокситолуол (BHT), широко используются в продуктах питания благодаря их эффективности и невысокой стоимости.

Безопасность синтетических антиоксидантов была подвергнута сомнению [14]. Натуральные антиоксиданты больше принимаются потребителями, потому что они воспринимаются как безопасные продукты. Было доказано, что многие природные антиоксиданты эффективны и содержатся во многих продуктах, богатых липидами [15]. Следовательно, большое преимущество для промышленности – это использование антиоксидантов, которые имеют то же происхождение, что и пища, в которой они будут применяться.

В соответствии с исследованием [16], основными летучими соединениями, дающими прогорклость вкусов грецкого ореха, являются пентанал (0,07–0,12%), гексанал (0,26–0,8%), нонанал (0,34–0,89%), 2-деценаль (0,25–0,68%) и гексанол (0,21–1,58%). Высокое содержание гексанала вместе

с 1-октен-3-ол октаналь и 2-октеналь могут быть найдены в прогорклых грецких орехах, вызывающих характерный запах и вкус [17].

При хранении на воздухе ненасыщенные масла (особенно линолевая кислота) грецких орехов будут окисляться, что приведет к образованию соединений, которые уменьшают химические, питательные и органолептические свойства орехов и сокращают срок хранения [18].

На автоокисление масел влияют разные факторы, такие как кислород, температура, свет и ионы металлов. Известны различные методы предотвращения орехов от автоокисления: охлаждение с использованием антиоксидантных консервантов [19], упаковка в модифицированной атмосфере или комбинированные методы консервации [20]. Эфирные масла (ЭМ) получают из растительных материалов, а их антимикробные и антиоксидантные свойства всем известны. Около 300 ЭМ имеют коммерческое значение [21], и некоторые из них используются в пищевой промышленности в качестве ароматизаторов и натуральных пищевых консервантов [22]. Как консерванты на растительной основе, ЭМ могут продлить срок хранения продуктов, защищая их от микробного загрязнения или окислительного разложения во время хранения и обработки после сбора урожая [23]. Авторы [24] протестировали около 100 чистых соединений ЭМ и обнаружили, что фенолы обладают самыми высокими антиоксидантными активностями, которые сопровождаются некоторыми монотерпеновыми углеводородами, а именно терпинолен, α - и γ -терпинен. В исследованиях использованы соединения ЭМ как основные компоненты, содержащие бензольное кольцо, коричный альдегид (CIN – cinnamaldehyde) и эвгенол (EUG, фенол) [25]. Были исследованы влияния ЭМ на замедление окисления липидов сырого фундука и макового масла [26] и показано, что они проявляют значительный антиоксидантный эффект.

В исследовании [27] ядра грецких орехов хранились в холодильнике при 4 °C и при температуре окружающей среды в вакуумных упаковках или в контейнерах с корицей или эфирным маслом. Запах и вкус хранящихся очищенных грецких орехов исследовали сенсорным методом и измерением содержания гексанала во время хранения. А также определено адсорбированное количество двух основных компонентов, используемых ЭМ, таких как коричный альдегид (CIN) и эвгенол (EUG), также их

влияние на сенсорные свойства ядер грецких орехов. Эфирным маслом (*Syzygium aromaticum*) предотвращена прогорклость.

Грецкий орех часто подвергается термической обработке для снижения влажности, а затем упаковывается для продажи или дальнейшей переработки. В работах исследовали влияние эффектов обжарки на питательные качества фундука [28], миндаля, фисташки, бразильских орехов [29] и грецких орехов [30]. Процесс обжарки осуществляется в электрической духовке и микроволновой печи [31]. Типичные условия обжарки варьируются от 140 °C/25 мин. до 160 °C/15 мин. для миндаля, фисташки, макадамии и до 176 °C/10 мин. для орехов, которые отражают минимальный и максимальный диапазон температуры обжарки и период времени, используемый для промышленных обжарок орехов [32]. Обжарка привела к изменениям микроструктуры и химического состава, таким как уменьшение содержания влаги, увеличение общего содержания полифенолов и флавоноидов, а также изменение содержания жирных кислот [33]. Некоторые исследования также показали, что обжарка приводит к формированию особого вкуса и аромата, а также к ломкости орехов.

Кроме термообработки, сублимационная сушка теперь широко используется для фруктов, овощей и орехов. Обычно процесс обезвоживания используется для удобства транспортировки материала. Сублимационная сушка сохраняет фрукты и овощи свежими, а пищевая ценность практически не изменяется [7; 34; 35].

Химический состав, жирные кислоты, общее содержание флавоноидов (TFC), общее содержание полифенолов (TPC) и минералы грецких орехов были исследованы после сублимационной сушки (55 °C) и в процессе тепловой сушки (60, 105, 140 °C). Результаты показали, что содержание протеина, растворимого сахара, минералов (кроме Mn) и углеводов увеличивалось с повышением температуры с 55 до 105 °C. Линолевая кислота и олеиновая кислота могут быть определены как основные жирные кислоты, с самым высоким содержанием при 105 °C (309,0 и 79,6 мг/г). Однако TFC и TPC были заметно увеличены на 36,9% и 33,9% в ядре, когда температура была увеличена с 55 до 140 °C. Таким образом, термообработка может значительно улучшить питательные качества грецкого ореха. Рекомендованная температура для сушки грецкого ореха – 105 °C.

В исследовании [36] основное внимание уделялось роли предварительной обработки орехов с помощью микроволн для улучшения вкуса и устойчивости орехового масла к окислению, а также изучалось влияние предварительной обработки с помощью микроволн на ненасыщенные жирные кислоты (олеиновая, пальмитиновая, линолевая и линоленовая кислоты) и антиоксидантные компоненты (токоферолы и фитостеролы). Результаты показывают, что предварительная микроволновая обработка эффективна для образования пиразиновых соединений. Типичный «жареный» привкус присутствовал при предварительной обработке в течение 2 минут или более. Между тем, по сравнению с контрольным образцом, только тщательно обработанный образец (предварительно обработанный микроволнами в течение 4 минут) показал более высокую окислительную стабильность. Были обнаружены лишь небольшие изменения в составе ненасыщенных жирных кислот, в то время как уровень токоферолов и фитостеринов значительно снизился с увеличением продолжительности обработки микроволнами ($P < 0,05$). Результаты показывают, что реакция Майяра вызвала улучшение окислительной стабильности, поскольку эта реакция может также генерировать антиоксидантные продукты, (меланоидины) в дополнение к пиразинам. Более того, было обнаружено, что предварительная микроволновая обработка эффективна для увеличения выхода масла во время прессования. Следовательно, несмотря на неблагоприятное воздействие на токоферолы и фитостеролы, предварительная обработка с помощью микроволн может использоваться для улучшения вкуса и устойчивости к окислению орехового масла.

Анализировались летучие вещества обработанных и сырых грецких орехов с использованием твердофазной микроэкстракции в свободном пространстве, в сочетании с газовой хроматографией и масс-спектрометрией [37]. Была исследована окислительная стабильность высушенных на воздухе грецких орехов в различных антиоксидантах с вакуумной упаковкой или без нее, чтобы найти подходящую упаковку для устойчивости к окислению высушенных на воздухе грецких орехов. Результаты показали, что было 14 летучих веществ в сырых грецких орехах, 28 в грецких орехах, высушенных на воздухе, и 38 в жареных грецких орехах. Изменения показателей качества масла, общих фено-

лов, малонового диальдегида и активности по удалению свободных радикалов при хранении при 60 °C показали, что окисление масла возрастало со временем хранения. Добавление антиоксидантов и вакуумная упаковка могут замедлить окисление. Вакуумная упаковка из алюминиевой фольги (14×20 см) может задержать окисление масла и продлить срок хранения до ~ 230 дней, высушенных на воздухе грецких орехов, при 20 °C. С добавлением антиоксидантов это было продлено до ~ 257 дней.

В работе [38] исследовано влияние ультразвуковой экстракции (УЗЭ, 200 Вт, 20 мин.) на физико-химические свойства различных белков грецкого ореха (WNP, включая альбумин, глобулин и глютелин). Электрофорез в полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия показал, что УЗЭ может привести к молекулярной фрагментации белка альбумина, но не влияет на основные группы глобулина и глютелина. Спектры показали, что разные белки орехов, полученные УЗЭ, имели разные изменения во вторичной структуре. В УЗЭ наблюдалось увеличение поверхностной гидрофобности (ПГ) альбумина и глютеина и отсутствие изменения интенсивности флуоресценции, в то же время наблюдалось снижение ПГ и интенсивность флуоресценции глобулина, а содержание общего и поверхностно свободного сульфогидрила в альбумине резко снизилось. УЗЭ снизила размер частиц и микроструктур в альбумине и глютене, указывающий на то, что ультразвук может разворачивать белковые агрегаты. Кроме того, УЗЭ увеличивает растворимость, эмульгирующую активность (ЕА), пенообразующую способность (FC) и стабильность пены (FS) полученных белков. Приведенные выше результаты указывают на то, что ультразвуковая экстракция является многообещающим подходом для улучшения выхода экстракции и свойств белков грецкого ореха.

В работе [39] показана оценка эффективности различных антиоксидантов (растворимые в этилацетате полифенолы, водорастворимые полифенолы, а также бутилированный гидрокситолуол) по сохранению качества масла грецкого ореха при хранении. Был проведен тест на пробах масел грецкого ореха без антиоксидантов (контроль) и с антиоксидантами при хранении в течение 16 дней при температуре 60 °C. Были проанализированы химические параметры, связанные с износом при хранении: пероксидное число (PV), конъюгированные

диены (CD), сопряженные триены (СТ) и каротиноиды (CC). Также были проанализированы летучие соединения, связанные с окислением липидов, таких как нонаналь, гексаналь, бутаналь и (Е) – 2-гептеналь, которые увеличивались во всех образцах во время хранения. Увеличение этих переменных было больше в контрольных образцах без антиоксидантов и меньше с антиоксидантами. Масла ореха с антиоксидантами показали лучшее сохранение летучих соединений, влияющих на вкус грецкого ореха, как D-лимонен, и низкое увеличение альдегидов и фуранов.

Дана оценка эффективности различных пищевых покрытий для сохранения качества ядер грецких орехов при хранении. Использованы три съедобных покрытия на основе карбоксиметил целлюлозы (СМС), метилцеллюлозы (МС) и изолята сывороточного белка (WP). С покрытием и без покрытия грецкие орехи (WC) хранились 210 дней при комнатной температуре ($23 \pm 2^\circ\text{C}$). Через 210 дней в WC было высокое содержание перекисного числа ($PV = 3,06$ мэкв $O_2/\text{кг}$), сопряженные диены ($CD = 3,01$) и триены ($CT = 0,31$), пентаналь, нонаналь, гексаналь и декан, 5,6-бис (2,2-диметилпропилидена). Между тем WMC показал самый низкий PV (1,20 мэкв $O_2/\text{кг}$), CD (2,26) и CT (0,17) и наименьшее снижение содержания каротиноидов (0,60 мг/кг). Покрытия МС, СМС и WP показали защиту грецких орехов от процесса ухудшения качества. Покрытие МС показало наилучшие характеристики [40].

Применение фенольных соединений грецких орехов, как антиоксидантных покрытий на основе белка грецкого ореха, полученного из остатков жмыха грецкого ореха, увеличивает срок хранения грецких орехов. Цель заключалась в оценке консервирующего действия полифенолов грецкого ореха, включенных в съедобное покрытие грецкого ореха, на ядра грецких орехов. Были приготовлены три вида обработки образца грецких орехов, покрытых грецкой ореховой мукой: без добавления антиоксидантов (контроль), с добавлением фенольного экстракта грецкого ореха и с добавлением бутилированного гидрокситолуола (ВНТ). Образец с добавлением фенолов грецкого ореха показал более низкое пероксидное ($3,64$ мэкв $O_2/\text{кг}$ масла) и анизидиновое число (1,11), также содержание конъюгированного диена (15,92) и гексанала ($19,67 \times 10^6$), чем у контрольного образца (6,23, 1,81, 24,65 и $122,37 \times 10^6$ соответственно). Кон-

трольный образец показал наибольшее ухудшение содержания полиненасыщенных жирных кислот (с 74,83 до 71,08 г/100 г), каротиноидов (с 3,43 до 1,90 мг/кг) и γ -токоферола (с 349,66 до 298,42 мг /кг). Кроме того, на 84-й день этот образец показал наивысшую степень окисления (20,33) и самую низкую интенсивность вкуса грецкого ореха (64,67). Что касается приемлемости потребителя, образец с добавлением фенола показал более высокую оценку приемлемости вкуса. Фенольные соединения грецкого ореха, содержащиеся в оболочке на основе белка грецкого ореха, улучшают сохранность грецких орехов. Учитывая практическую осуществимость, процедура, используемая для приготовления этих продуктов, проста и требует оборудования, уже имеющегося в пищевой промышленности. Кроме того, использование этого покрытия с фенольными соединениями грецкого ореха дает такие преимущества, как предотвращение перекрестного загрязнения аллергенами в производственной цепочке, утилизация промышленных отходов, замена синтетических антиоксидантов и уменьшение количества, толщины пластика, необходимого для упаковки грецких орехов [41].

Ядро грецкого ореха, будучи очень гигроскопичным, восприимчиво к развитию микробов при неправильном хранении. Воздействие кислорода, света, влаги и высокой температуры приводит к окислению жирных кислот и, как было установлено, является основным источником привкуса и снижения качества грецких орехов [42–44]. Исследовано влияние активности воды на окислительную и микробиологическую стабильность грецкого ореха. Грецкие орехи хранились под различными водными режимами и выдерживались в течение 16 недель. В течение этого периода наблюдались изменения влажности, перекисного числа, развитие микроорганизмов. Наибольшая скорость окисления наблюдалась у грецких орехов, хранящихся под водой, диапазоны активности у которых 0,01–0,28 и 0,48–1,00. Анализируя полученные результаты, авторы [45] пришли к выводу, что активность воды в хранилищах комнаты должна быть в пределах от 0,28 до 0,48 для сохранения их качества, снижения количества бактерий, плесени и перексидного числа и содержания влаги в ядрах грецкого ореха.

Сравнивались различные методы обработки масла грецкого ореха (холодное прессование, обжарочное прессование, экстракция гексаном, докритическая экстрак-

ция бутаном и сверхкритическая экстракция диоксидом углерода), и было показано, что экстракция гексаном обеспечивает эффективное выделение липидов. Среди исследованных образцов масло после обжарки и экстракции гексаном показало самое высокое содержание C18:1n-9 (18,74 и 18,52% соответственно), самое низкое содержание C18:2n-6 (63,06 и 62,95% соответственно) и трилинолеина (32,82 и 32,06% соответственно). Содержание токоферола (371,08 мг/кг) и фитостерола (1206,30 мг/кг) в масле грецкого ореха, экстрагированного бутаном в докритическом состоянии; содержание полифенолов в масле, экстрагированном гексаном (45,43 мг/кг); содержание сквалена в жареном прессованном масле грецкого ореха (14,19 мг/кг) показали высокие результаты. Было показано, что C16:0, полифенол, Δ^5 -авенастерин, γ -токоферол, C18:3n-3, и C18:0 способствовали антиоксидантной способности масла грецкого ореха. В целом полученные результаты способствуют разработке промышленных методов получения высококачественного и питательного масла грецкого ореха [46; 47].

Таким образом, анализируя вышеуказанные литературные данные, для сохранения качества орехов даются следующие рекомендации:

- термообработка, сублимационная сушка;
- предварительная обработка с помощью микроволн;
- ультразвуковая экстракция;
- обработка масла грецкого ореха (холодное прессование, обжарочное прессование, экстракция гексаном, докритическая экстракция бутаном и сверхкритическая экстракция диоксидом углерода)
- добавление различных антиоксидантов;
- различные пищевые покрытия;
- вакуумная упаковка.

Список литературы / References

1. Rao G., Sui J., Zhang J. Metabolomics reveals significant variations in metabolites and correlations regarding the maturation of walnuts (*Juglans regia* L.). *Biol. Open*. 2016. Vol. 5. P. 829–836. DOI: 10.1242/bio.017863.
2. Bolling B.W., Chen C.Y.O., McKay D.L., Blumberg, J.B. Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts. *Nutr. Res. Rev.* 2011. Vol. 24. P. 244–275. DOI: 10.1017/S095442241100014X.
3. Grace M.H., Warlick C.W., Neff S.A., Lila M.A. Efficient preparative isolation and identification of walnut bioactive components using high-speed counter-current chromatography and LC-ESI-IT-TOF-MS. *Food Chem.* 2014. Vol. 158. P. 229–238.
4. Lynch C., Koppel K., Reid W. Sensory Profiles and Seasonal Variation of Black Walnut Cultivars. *J. Food Sci.* 2016. Vol. 81. P. 719–727.
5. Amaral J.S., Alves M.R., Seabra R.M., Oliveira B.P.P. Vitamin E composition of walnuts (*Juglans regia* L.): A 3-year comparative study of different cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 2005. Vol. 53. P. 5467–5472.
6. Fuentealba C., Hernandez I., Saa S., Toledo L., Burdiles P., Chirinos R., Campos D., Brown P., Pedreschi R. Colour and in vitro quality attributes of walnuts from different growing conditions correlate with key precursors of primary and secondary metabolism. *Food Chem.* 2017. Vol. 232. P. 664–672.
7. Yongxiang Han, Yuewen Zheng, Shiliang Li, Runhong Mo, Xiangyu Long, Yihua Liu. Effects of Drying Process with Different Temperature on the Nutritional Qualities of Walnut (*Juglans regia* L.). *Food Science and Technology Research*. 2019. Vol. 25 (2). P. 167–177. DOI: 10.3136/fstr.25.167.
8. Martínez M.L., Mattea M.A., Maestri D.M. Varietal and crop year effects on lipid composition of walnut (*Juglans regia*) genotypes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2006. Vol. 83. P. 791–796. DOI: 10.1007/s11746-006-5016-z.
9. Slatnar A., Mikulic-Petkovsek M., Stampar F., Verberic R., Solar A. Identification and quantification of phenolic compounds in kernels, oil and bagasse pellets of common walnut (*Juglans regia* L.). *Food Research International*. 2015. Vol. 67. P. 255–263. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.11.016.
10. Martínez M., Barriónuevo G., Nepote V., Grosso N., Maestri D. Sensory characterization and oxidative stability of walnut oil. *International Journal of Food Science & Technology*. 2011. Vol. 46. P. 1276–1281. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2011.02618.x.
11. Liang P., Chen C., Zhao S., Ge F., Liu D., Liu B., Xiong X. Application of Fourier transform infrared spectroscopy for the oxidation and peroxide value evaluation in virgin walnut oil. *Journal of Spectroscopy*. 2013. P. 1–5.
12. Estruch R., Ros E., Salas-Salvadó J., Covas M.-I., Corella D., Arós F., Martínez-González M. A. Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. *The New England Journal of Medicine*. 2013. Vol. 368. P. 1279–1290. DOI: 10.1056/NEJMoa1200303.
13. Regueiro J., Sánchez-gonzález C., Vallverdú-queral, A., Simal-gándara J., Lamuela-raventós R., Izquierdo-pulido M. Comprehensive identification of walnut polyphenols by liquid chromatography coupled to linear ion trap-Orbitrap mass spectrometry. *Food Chemistry*. 2014. Vol. 152. P. 340–348. DOI: 10.1016/j.foodchem.
14. Hudson B.J.F. *Food antioxidants*. Springer Netherlands: Elsevier. 1990, XII, 317 p. DOI: 10.1007/978-94-009-0753-9.
15. López-Calleja I.M., de la Cruz S., González I., García T., Martín R. Market analysis of food products for detection of allergenic walnut (*Juglans regia*) and pecan (*Carya illinoensis*) by real-time PCR. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 177. P. 111–119. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.01.017.
16. Abdallah I.B., Tlili N., Martinez-Force E., Rubio A.G.P., Perez-Camino M.C., Albouchi A., Boukhchina S. Content of carotenoids, tocopherols, sterols, triterpenic and aliphatic alcohols, and volatile compounds in six walnuts (*Juglans regia* L.) varieties. *Food Chem.* 2015. Vol. 173. P. 972–978. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.095.
17. Vidrih R., Hribar J., Solar A., Zlatić E. The influence of atmosphere on the oxidation of ground walnut during storage at 20 °C. *Food Technol. Biotech.* 2012. Vol. 50. P. 454–460.
18. Vaidya B., Eun J.B. Effect of temperature on oxidation kinetics of walnut and grape seed oil. *Food Sci. Biotechnol.* 2013. Vol. 22. P. 273–279.
19. Ates L., Perez-Masia R., Chiralt A. The role of some antioxidants in the HPMC film properties and lipid protection in coated toasted almonds. *J. Food Eng.* 2011. Vol. 104. P. 649–656.
20. Mexis S.F., Badeka A.V., Riganakos K.A., Karakostas K.X., Kontominas M.G. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts. *Food Control*. 2009. Vol. 20. P. 743–751.
21. Speranza B., Corbo M.R. Essential oils for preserving perishable foods: possibilities and limitations. In Bevilacqua A., Corbo M.R., Sinigaglia M. *Application of Alternative Food-*

Preservation Technologies to Enhance Food Safety and Stability, Bentham Science Publishers, 2010. P. 35–57.

22. Hyldgaard M., Mygind T., Meyer R.L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Front Microbiol.* 2012. Vol. 3. P. 1–24.

23. Prakash B., Mishra P.K., Kedia A., Dubey N.K. Antifungal, antiaflatoxin and antioxidant potential of chemically characterized *Boswellia carterii* Birdw. essential oil and its in vivo practical applicability in preservation of *Piper nigrum* L. fruits. *LWT-Food Sci. Technol.* 2014. Vol. 56. P. 240–247. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.12.023.

24. Ruberto G., Baratta M.T. Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. *Food Chem.* 2000. Vol. 69. P. 167–174.

25. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils – a review. *Food Chem Toxicol.* 2008. Vol. 46. P. 446–475.

26. Ozcan M.M., Arslan D. Antioxidant effect of essential oils of rosemary, clove and cinnamon on hazelnut and poppy oils. *Food Chem.* 2011. Vol. 129. P. 171–174.

27. Máté Berta, István Molnár, Ádám Zentai, Anita Kecske-méti, Erika Beáta Kerekes, Elvira Nacsá-Farkas, Csilla Gömöri, Anita Vidács, Sándor Kocsibé, Ottó Bencsik, András Szekeres, Csaba Vágvolgyi, Judit Krisch. Preservation effect of cinnamon and clove essential oil vapors on shelled walnut. *Acta Biologica Szegediensis.* 2018. Vol. 2 (2). P. 141–145.

28. Manzo N., Troise A.D., Fogliano V., Pizzolongo F., Montefusco I., Cirillo C., Romano R. Impact of traditional and microwave roasting on chemical composition of hazelnut cultivar 'Tonda di Giffoni'. *Qual. Assur. Saf. Crops Foods.* 2017. Vol. 9. P. 391–399.

29. Ozcan M.M., Aljuhaimi F., Uslu N. The effect of heat treatment on phenolic compounds and fatty acid composition of Brazilian nut and hazelnut. *J. Food Sci. Technol.* 2018. Vol. 55. P. 376–380.

30. Schlormann W., Birringer M., Bohm V., Lober K., Jahreis G., Lorkowski S., Muller A.K., Schone F., Gleit M. Influence of roasting conditions on health-related compounds in different nuts. *Food Chem.* 2015. Vol. 180. P. 77–85.

31. Aljuhaimi F., Ozcan M.M. Influence of oven and microwave roasting on bioproperties, phenolic compounds, fatty acid composition, and mineral contents of nongerminated peanut and germinated peanut kernel and oils. *J. Food Process. Preserv.* 2018. P. 536–543.

32. Stuetz W., Schlormann W., Gleit M. B-vitamins, carotenoids and alpha-/gamma-tocopherol in raw and roasted nuts. *Food Chem.* 2017. Vol. 221. P. 222–227.

33. Aljuhaimi F., Ozcan M.M., Uslu N., Dogu, S. Pecan walnut (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) oil quality and phenolic compounds as affected by microwave and conventional roasting. *J. Food Sci. Technol.* 2017. Vol. 54. P. 4436–4441.

34. Storey M., Anderson P. Total fruit and vegetable consumption increases among consumers of frozen fruit and vegetables. *Nutrition.* 2018. Vol. 46. P. 115–121.

35. Eisinaite V., Vinauskiene R., Viskelis P., Leskauskaitė D. Effects of Freeze-Dried Vegetable Products on the Tech-

nological Process and the Quality of Dry Fermented Sausages. *J. Food Sci.* 2016. Vol. 81. P. 2175–2182.

36. Ye Zhou, Wei Fan, Fuxiang Chu, Dong Pei. Improvement of the flavor and oxidative stability of walnut oil by microwave pretreatment. *Journal of the American Oil Chemists Society.* 2016. Vol. 93. P. 1563–1572. DOI: 10.1007/s11746-016-2891-9.

37. Jing Hao, Xiao-Lin Xu, Feng Jin, Joe M. Regenstein Feng-Jun Wang. HS-SPME GC-MS characterization of volatiles in processed walnuts and their oxidative stability. *Journal of Food Science and Technology.* 2020. Vol. 57 (4). P. 2693–2704. DOI: 10.1007/s13197-020-04305-9.

38. Siyi Lv, Ahmed Taha, Hao Hu, Qi Lu, Siyi Pan. Effects of ultrasonic-assisted extraction on the physicochemical properties of different walnut proteins. *Molecules.* 2019. Vol. 24. P. 4260–4265. DOI: 10.3390/24234260 www.mdpi.com/journal/molecules.

39. Antonella L. Grosso, Claudia M. Asensio, Valeria Nepote, Nelson R. Grosso. Antioxidant Activity Displayed by Phenolic Compounds Obtained from Walnut Oil Cake used for Walnut Oil Preservation. *Journal of the American Oil Chemists Society.* 2018. Vol. 95. P. 1409–1419. DOI: 10.1002/aocs.12145.

40. Grossoa A.L., Asensioa C.M., Nepote V., Grossoa N.R. Quality preservation of walnut kernels using edible coatings. *GRASAS Y ACEITES.* 2018. Vol. 69 (4). P. 281–287. DOI: 10.3989/gya.0350181.

41. Antonella L. Grosso, Cecilia Riveros, Claudia M. Asensio. Improving walnuts' preservation by using walnut phenolic extracts as natural antioxidants through a walnut protein-based edible coating. *Journal of Food Science.* 2020. Vol. 85. P. 3043–3051. DOI: 10.1111/1750-3841.15395.

42. Fu M., Qu Q., Yang X., Zhang X. Effect of intermittent oven drying on lipid oxidation, fatty acids composition and antioxidant activities of walnut. *LWT – Food Sci Technol.* 2016. Vol. 65. P. 1126–1132.

43. Gama T., Wallace H.M., Trueman S.J., Hosseini-Bai S. Quality and shelf life of tree nuts: a review. *Scientia horticulturae.* 2018. Vol. 242. P. 116–126. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.07.036.

44. Qu Q., Yang X., Fu M., Chen Q., Zhang X., He Z., et al. Effects of three conventional drying methods on the lipid oxidation, fatty acids composition, and antioxidant activities of walnut (*Juglans regia* L.). *Drying Technol.* 2016. Vol. 34 (7). P. 822–829.

45. Boaghi E., Resitca V., Ciurac J. Water Activity Influence on Walnuts (*Juglans Regia* L.). *Microbiological and Oxidative Stability.* *Int. J. Food Sci. Nutr. Diet.* 2019. Vol. 8 (2). P. 401–404.

46. Pan Gao, Ruijie Liu, Qingzhe Jin, Xingguo Wang. Effects of processing methods on the chemical composition and antioxidant capacity of walnut (*Juglans regia* L.) Oil. *LWT – Food Science and Technology.* 2021. Vol. 135. P. 109–114. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109958.

47. Henriette M. Cordeiro de Azeredo, Caio Gomide Otoni, Odilio Benedito Garrido de Assis, Lucimara Aparecida Foratob and Rubens Bernardes-Filhob. In a nutshell: prospects and challenges on coatings for edible kernels. *J. Sci. Food Agric.* 2020. Vol. 100. P. 2321–2326. DOI: 10.1002/jsfa.10190.