

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2358>
<https://elibrary.ru/OZYTYK>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Исследование антиоксидантных свойств тритерпеноидов в составе жиросодержащих продуктов



Е. В. Аверьянова^{1,*}, М. Н. Школьников^{1,2}, О. В. Чугунова²

¹ Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», Бийск, Россия

² Уральский государственный экономический университет , Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию: 04.04.2022

Принята после рецензирования: 24.04.2022

Принята в печать: 04.05.2022

*Е. В. Аверьянова: averianova.ev@bti.secna.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

М. Н. Школьников: <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

О. В. Чугунова: <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

© Е. В. Аверьянова, М. Н. Школьников, О. В. Чугунова, 2022



Аннотация.

Растительные антиоксиданты способны подавлять процессы окислительной порчи в жиросодержащих пищевых продуктах. Это определило цель исследования антиоксидантных свойств *in vivo* тритерпенового спирта бетулина, выделенного из бересты березы *Betula pendula* Roth., в составе жиросодержащих продуктов на примере майонеза.

Объектами исследования являлись образцы майонеза: опытный – с внесением 0,2 %-ого раствора бетулина в растительном масле, контрольный – без добавления бетулина. Для исследования показателей качества образцов применяли общепринятые и стандартные методы. Антиоксидантную активность определяли расчетным методом как величину, обратную значению перекисного числа. Физиолого-биохимические исследования антиоксидантной активности образцов проводились *in vivo* на сертифицированных крысах линии Wistar.

Добавление бетулина снижает окислительную порчу майонеза: значение кислотного числа составило 0,013 и 0,033 г/дм³ в опытном и контрольном образцах соответственно. По истечении 60 суток хранения произошло его увеличение в 1,4 и 2,3 раза для опытного и контрольного образцов соответственно. Значение перекисного числа в 8–10 раз выше в контрольном образце на протяжении срока хранения, чем в опытном. Антиоксидантная активность свежеработанного опытного образца составила 5,00 и 0,50 ед. по истечении 60 суток хранения, тогда как антиоксидантная активность контрольного – 0,50 и 0,06 ед. соответственно. Установлено, что в опытном образце бетулин замедлил скорость роста колоний микроорганизмов. Антиоксидантные свойства опытных образцов майонеза доказаны *in vivo* на модели острого токсического гепатита крыс.

Употребление майонеза с бетулином способствует укреплению антиоксидантной защиты организма. Это выражается в положительном влиянии на активность антиокислительных ферментов, которые принимают участие в разрушении органических перекисей, особенно перекисей липидов, нарушающих строение клеточных мембран.

Ключевые слова. Бетулин, майонез, береза, антиоксидант, антиоксидантная активность, кислотное число, перекисное число

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Для цитирования: Аверьянова Е. В., Школьников М. Н., Чугунова О. В. Исследование антиоксидантных свойств тритерпеноидов в составе жиросодержащих продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 233–243. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2358>

Antioxidant Properties of Triterpenoids in Fat-Containing Products

Elena V. Averyanova^{1,*}, Marina N. Shkolnikova^{1,2}, Olga V. Chugunova²

¹ Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
Biysk, Russia

² Ural State University of Economics , Yekaterinburg, Russia

Received: 04.04.2022
Revised: 24.04.2022
Accepted: 04.05.2022

*Elena V. Averyanova: averianova.ev@bti.secna.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>
Marina N. Shkolnikova: <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>
Olga V. Chugunova: <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

© E.V. Averyanova, M.N. Shkolnikova, O.V. Chugunova, 2022



Abstract.

Natural antioxidants of plant origin include chemical compounds, extracts, and essential oils isolated from plant raw materials. They are able to inhibit oxidative spoilage in fat-containing foods. The present research featured the antioxidant and *in vivo* properties of triterpene alcohol betulin, isolated from the bark of *Betula pendula* Roth., in fat-containing products, e.g., mayonnaise.

Experimental samples of mayonnaise were prepared using the Provençal mayonnaise technology: 6 of 0.2% betulin solution was introduced in vegetable oil during emulsification. The control sample contained no betulin. The experiment relied on standard methods to study the sensory, physicochemical, and microbiological properties of mayonnaise samples. Antioxidant activity was calculated as the inverse of the value of the peroxide number. The antioxidant and hepatoprotective properties underwent physiological and biochemical *in vivo* tests on certified white male Wistar rats.

The research resulted in a new formulation of mayonnaise with triterpenoid betulin, which proved to be a good plant antioxidant as it reduced the values of acid and peroxide numbers. In freshly processed samples, the acid number was 0.013 g/dm³ in the experimental sample and 0.033 g/dm³ in the control. After 60 days of storage, it increased by 1.4 and 2.3 times, respectively. The peroxide number was 8–10 times higher in the control sample during the storage period. Betulin inhibited the oxidation of triacylglycerides. The antioxidant activity of the fresh prototype was 5.00 units and 0.50 units after 60 days. In the control, it was 0.50 and 0.06 units, respectively. In the experimental sample, betulin slowed down the growth rate of microorganisms. In the control sample, the yeast content increased 1.6 times, and mold exceeded the permissible value by 20%.

The antioxidant properties of experimental mayonnaise were proven *in vivo* on a model of acute toxic hepatitis in rats. Based on biochemical studies of animal blood plasma, the use of mayonnaise with betulin improved the antioxidant protection. Betulin had a positive effect on antioxidant enzymes that destroy organic peroxides, e.g., lipid peroxides, which violate the structure of cell membranes.

Keywords. Betulin, mayonnaise, birch, antioxidant, antioxidant activity, acid number, peroxide number

Funding. The research was ordered by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)  (Project No. 075-00316-20-01; FZMMM-2020-0013; mnemonic 0611-2020-013).

For citation: Averyanova EV, Shkolnikova MN, Chugunova OV. Antioxidant Properties of Triterpenoids in Fat-Containing Products. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):233–243. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2358>

Введение

Майонез – эмульсионный масложировой продукт, предназначенный для улучшения вкуса и усвояемости основных блюд. Является привычной и популярной приправой, используемой в рационе большинством россиян. Однако майонез не относится к продуктам «здорового питания» из-за высокого

содержания жировой составляющей, соли, сахара и пищевых добавок (консерванты, антиоксиданты, стабилизаторы консистенции и др.) синтетического происхождения, к которым у большинства потребителей сформировалось негативное отношение. Это способствовало увеличению спроса на пищевые продукты с натуральными и легко узнаваемыми

пищевыми добавками, с «чистой» маркировкой, а также обусловило перспективность разработки майонеза с функциональной направленностью [1].

В составе майонеза в эмульгированной форме содержатся незаменимые пищевые ингредиенты – ненасыщенные жирные кислоты [2]. Однако из-за высокой способности к окислению может нарушаться их химическая стабильность. Это приводит к образованию нежелательных компонентов, таких как свободные радикалы, перекисные и карбонильные соединения, появлению неприятных запаха (прогорклый) и привкусов, снижению пищевой ценности и срока годности майонеза.

Доказано, что окислению липидов в майонезе препятствуют пищевые добавки – антиоксиданты (антиокислители), – вносимые в составе экстрактов или индивидуальных химических соединений [3–5]: – синтетические фенольные соединения – бутилгидроксианизол (ВНА, E320), бутилгидрокситолуол (ВНТ, E321), пропилгаллат (E310) и трет-бутилгидрохинон (ТВНҚ, E319) – являются широко используемыми пищевыми антиоксидантами из-за своей низкой стоимости, высокой эффективности и доступности. Их максимальное содержание регулируется ТР ТС 029/2011. Например, E320 – 200 мг/кг (на жир продукта). Имеются сведения о прооксидантном действии пропилгаллата в зависимости от его содержания в продукте [5];

– этилендиаминтетраацетат кальция-нитрат (ЭДТА, E385, норма внесения в майонез и майонезные соусы по ТР ТС 029/2011 – 75 мг/кг), лимонная кислота (E330) и др.;

– натуральные антиоксиданты: индивидуальные соединения – аскорбиновая кислота (ascorbic acid, E300, витамин С), галловая кислота, α -токоферол (E307, витамин Е) и др., а также экстракты различных частей растений.

Антиоксидантная активность свойственна и терпенам. Например, тритерпеновый спирт бетулин предложено использовать в составе таких жиросодержащих пищевых продуктах, как творог, сливочное масло и его растительный аналог – спред, йогурт и хлебобулочные изделия, в том числе в функциональных и специализированных продуктах [6–12].

Данные факты послужили предпосылкой для выбора бетулина в качестве функционального пищевого ингредиента в рецептуре майонеза. Его хорошая растворимость в масле и проявление антиоксидантной активности позволяют рассматривать бетулин как эффективный и безопасный консервант, способствующий защите и сохранению здоровья человека. В исследовании W. Zhang и др. приведено теоретическое обоснование безопасности и эффективности

бетулина как консерванта. Также рассмотрен механизм его консервирующего действия, основанный на способности бетулина улавливать свободные радикалы [13].

Бетулин и его производные обладают доказанной физиологической активностью при лечении болезней, вызванных нарушением обмена веществ, инфекционных и сердечнососудистых заболеваний, неврологических расстройств и др. Бетулин имеет структурное сходство с компонентами клеточных мембран человека, что свидетельствует о безопасности его употребления в составе продуктов питания. Он не токсичен, не вызывает аллергических реакций, не обладает тератогенным, кожно-раздражающим, канцерогенным, кумулятивным и мутагенным действиями и не влияет на развитие плаценты [14]. В чистом виде и в составе экстракта бересты березы (*Betula pendula* Roth.) бетулин препятствует образованию бляшек на стенках сосудов за счет способности понижать уровень «вредного» холестерина в крови, мягко снижает уровень глюкозы в крови, ингибируя активность α -глюкозидазы, проявляет иммуномодулирующую, желчегонную и гепатопротекторную активности [15]. Исследования физиологической активности бетулина и его производных свидетельствуют о повышении общей резистентности организма, восстановлении функций клеток печени и снижении показателей общей интоксикации. Диникотинат бетулина проявляет выраженные антиоксидантные свойства, снижая интенсивность окисления липидов в 1,8 раза, и способствует поддержанию уровня щелочной фосфатазы и билирубина в плазме крови [16]. Морфологические исследования действия амидов окисленной формы бетулина – бетулоновой кислоты – показали их высокую активность против острого токсического гепатита, а их прием уменьшает нефротоксическое действие [17].

Целью работы является исследование антиоксидантных свойств *in vivo* тритерпенового спирта бетулина, выделенного из бересты березы *Betula pendula* Roth., в составе жиросодержащих продуктов на примере майонеза.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись экспериментальные образцы майонеза, приготовленные из традиционных ингредиентов по классической технологии майонеза «Провансаль» с внесением в опытный образец 0,2 %-ого раствора бетулина в растительном масле в количестве 6 % на этапе эмульгирования рецептурных компонентов. Контролем являлся образец майонеза без бетулина, приготовленный аналогичным способом. Бетулин получен по методу, заявленному в [18], спиртовой экстракцией предварительно активированной бересты.

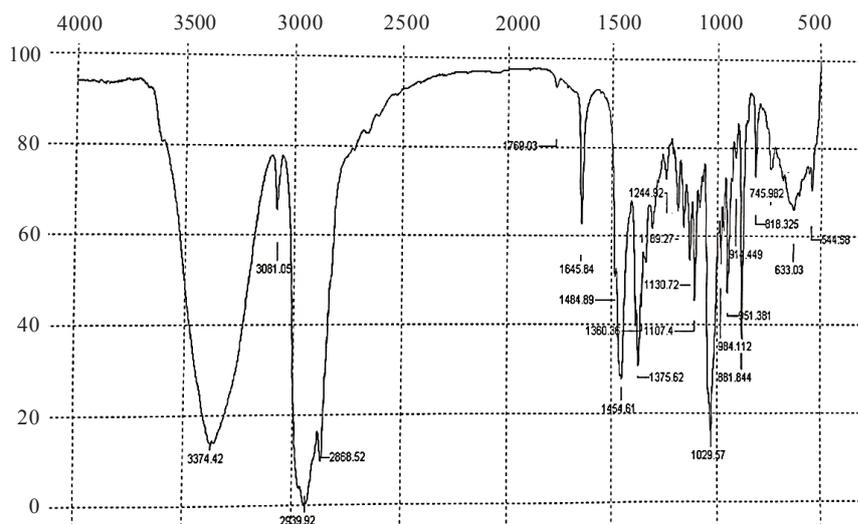


Рисунок 1. ИК-спектр бетулина

Figure 1. IR spectrum of betulin

Коэффициент извлечения составил 97 %; $T_{пл.} = 259\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$ (из этилового спирта). Подлинность препарата подтверждена данными ИК-спектроскопии (рис. 1) и результатами элементного анализа: найдено: С – 81,2 %, Н – 11,5 %, $C_{31}H_{50}O_2$; вычислено: С – 81,4 %, Н – 11,3 %.

В течение срока хранения образцов майонеза в стандартном режиме при $t = 2 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в холодильной камере в течение 60 суток в герметичной стерильной стеклянной таре стандартными методами по ГОСТ 31762-2012 определяли внешний вид, консистенцию, цвет, запах и вкус, массовую долю влаги (ускоренным методом), жира (методом экстракции смесью растворителей) и яичных продуктов в пересчете на сухой желток, кислотность, рН, стойкость эмульсии, перекисное число и эффективную вязкость. Показатели микробиологической безопасности устанавливалт по ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 31747-2012 и ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002). Антиоксидантную активность (ед. АОА) образцов майонеза определяли расчетным методом как величину, обратную значению перекисного числа по [19, 20]. Значение перекисного числа определено йодометрическим методом по ГОСТ 31762-2012.

Физиолого-биохимические экспериментальные исследования антиоксидантной активности образцов майонеза проводились *in vivo* в зимне-весенний период на сертифицированных белых крысах мужского пола линии Wistar массой 210–265 г, предоставленных Институтом цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Эксперименты проводились в соответствии с «Правилами лабораторной практики в Российской Федерации» (приказ МЗ РФ № 708н от 23.08.2010 г.).

Из подопытных крыс выделены для наблюдения две контрольные (контрольная группа 1 – интактные животные, контрольная группа 2 – животные с инициированным CCl_4 токсическим гепатитом) и опытная группы (животные с инициированным CCl_4 токсическим гепатитом) по 10 животных в каждой. Животные всех групп, находясь в стандартных условиях содержания и при естественном световом режиме, получали общевиварный рацион и воду *ad libitum*. Дополнительно в общевиварный рацион животных опытной группы введен майонез с добавлением тритерпеноида бетулина.

Модель токсического гепатита инициирована внутрижелудочным введением животным 1 мл 25 %-ого масляного раствора CCl_4 в течение шести суток. Экспериментальные образцы майонеза (с бетулином и без) вводили один раз в сутки перорально в дозировке 1 мл в течение 21 дня после формирования модельной патологии. На 28-й день под эфирным наркозом путем декапитации осуществляли эвтаназию экспериментальных животных с последующим забором крови для исследований.

В плазме крови животных определяли показатели оксидантного статуса: общую оксидантную активность и содержание тиобарбитурчувствительных продуктов, в том числе малонового диальдегида. Антиоксидантный статус оценивали по интегративному показателю общей антиоксидантной активности и показателям активности отдельных ферментов: каталазы и супероксиддисмутазы по [21].

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием программы Statistica 6.1 с вычислением значений средней величины (M) и

Таблица 1. Примеры использования натуральных антиоксидантов в майонезе

Table 1. Natural antioxidants in mayonnaise

Антиоксидант/ консервант (концентрация)	Эффективность действия	Источник
Индивидуальные соединения		
Галловая кислота	Проявляет антиоксидантную активность благодаря способности восстанавливать ионы металлов до их активной формы. Например, Fe ³⁺ до Fe ²⁺ . Способствует уменьшению размера жировых капель в прямой эмульсии. Это приводит к увеличению скорости перекисного окисления липидов, что показано на примере рыбьего жира в составе майонеза	[5]
Аскорбиновая кислота	Проявляет антиоксидантное действие, обрывая цепные радикальные реакции посредством переноса электронов, может действовать как поглотитель O ₂ . В смеси с лимонной кислотой/цитратом натрия и пропилгаллатом проявляет консервирующее действие, увеличивая срок годности майонеза до 49 суток при температуре 25 °С. Катализирует распад гидропероксидов липидов (липид-ООН) путем восстановления Fe ³⁺ до Fe ²⁺ при комнатной температуре	[22]
Токоферолы (α , β , γ и δ)	Антиоксидантный эффект токоферола в майонезе зависит от его концентрации и растворимости в воде или в масле: токоферол, растворимый в воде (Grindox 1032) в умеренной концентрации, обеспечивает максимальный антиоксидантный эффект как в отношении пероксидов, так и образующихся летучих веществ. В высоких концентрациях (более 700 мг/кг, что соответствует 140 мг/кг токоферола) Grindox 1032 проявляет прооксидантный эффект. Токоферол в высоких концентрациях, растворимый в масле (Тосо 70), оказывает прооксидантное действие	[23, 24]
Ликопин (50 мг/кг)	В составе майонеза действует как антиоксидант, препятствуя автоокислению липидов и замедляя развитие неприятных вкуса и запаха. Способствует сохранению цвета продукта	[25]
Растительные экстракты		
Экстракт розмарина обыкновенного (<i>Rosmarinus officinalis</i>) (0,03 %)	Подавляет процессы фотоокисления липидов подсолнечного масла в составе майонеза, что приводит к понижению содержания летучих соединений. Оказывает хелатирующее действие на железо	[26]
Горчичная паста (0,75–1,5 %)	Повышает стабильность майонеза, снижает перекисное число и прогорклость майонеза. Действует как эмульгатор	[27]
Экстракт пажитника (<i>Trigonella foenumgraecum</i>) (200, 500 и 1500 мг/кг)	В дозировке 500 мг/кг показывает аналогичный антиоксидантный эффект, что и синтетический антиоксидант ТВНQ (200 мг/кг), но более эффективен, чем ВНТ (200 мг/кг). В дозировке 1500 мг/кг его эффективность выше, чем у синтетических антиоксидантов	[5]
Экстракт из листьев падуба парагвайского (<i>Ilex paraguariensis</i>) (138,0 mgGAE/g powder)	Проявляет заметное увеличение стабильности к окислению образцов майонеза. Время окисления, по сравнению с контрольным образцом (без внесения экстракта), увеличилось в 6 раз. Антиоксидантная активность пропорциональна содержанию полифенолов, причем инкапсулированные экстракты обладают более высоким потенциалом	[1]
Экстракт семян черного риса (1000 мг/кг)	В концентрации 1000 мг/кг эффективно повышает окислительную стабильность майонезов. Однако это приводит к изменению цвета продукта вследствие реакции Майяра и окисления антоцианина до продуктов коричневого цвета	[28]
Экстракт имбиря (<i>Zingiber officinale</i>) порошок (1,0 и 1,25 %)	В концентрациях от 1,00 до 1,25 % предотвращает образование продуктов первичного и вторичного окисления, увеличивая стабильность образцов майонеза при хранении до 20 недель. Не оказывает влияния на реологические свойства майонеза, улучшает вкус и аромат в течение срока хранения	[29]
Экстракт виноградных косточек (<i>Vitis vinifera</i>) (0,05 %)	Обеспечивает высокую защиту от окисления при хранении в течение 8 недель	[30]
Экстракты пижмы (<i>Tanacetum vulgare</i>)	Повышает окислительную стабильность майонеза за счет содержания β -гуйона (86 %) и фенольных компонентов (производные лютеолина, апигенина и хлорогеновой кислоты)	[31]

Антиоксидант/ консервант (концентрация)	Эффективность действия	Источник
Экстракт шелухи кукурузной пурпурной (0,4 г/кг)	Антиоксидантный эффект майонеза, содержащего антоцианы шелухи пурпурной кукурузной, был выше, чем у майонеза с синтетическими антиоксидантами ВНТ и EDTA. Образцы майонеза с антоцианами имели пурпурный цвет. Это было оценено потребителями как положительный момент, т. к. необычный цвет связывают с натуральностью продукта	[32]
Экстракт куркумы (<i>Curcuma longa</i>) (0,002–0,009 %)	Добавление в концентрации 0,002–0,009 % приводит к увеличению устойчивости жировой фазы соуса к окислению и способствует продлению сроков годности образцов майонеза. При содержании менее 0,002 % антиоксидантный эффект не наблюдается, при концентрации более 0,009 % наблюдается выраженное прооксидантное действие	[33]
Экстракт зеленого чая <i>Camellia sinensis</i> (0,025–0,75 %)	В количестве 0,025–0,25 % масс. в образце майонеза эффективно замедляет процесс окислительной порчи с сохранением традиционных органолептических показателей. Перекисное число жировой фазы, выделенной из продукта, для контрольного образца майонеза за 30 суток хранения при комнатной температуре увеличилось в 22 раза, в образцах с добавкой экстракта зеленого чая – в 4–9 раз в зависимости от дозировки. Увеличение дозировки экстракта зеленого чая до 0,5–0,75 % масс. приводит к резкому ухудшению органолептических свойств продукта. При этом высокие антиоксидантные свойства добавки сохраняются	[34]
Экстракт из листьев мяты перечной (<i>Mentha piperita</i>) и крапивы двудомной (<i>Urtica dioica</i>)	Способствует увеличению содержания антиоксидантов и минеральных веществ в образцах майонеза. Также образец длительное время сохраняет свои реологические свойства и не расслаивается	[35]
Эфирные масла		
Семена индийского тмина (<i>Carum copticum</i>) (0,030 и 0,045 %)	В концентрации от 0,030 до 0,045 % проявляет антиоксидантную активность, аналогичную синтетическим антиоксидантам (ВНА и ВНТ), за счет содержания в эфирном масле тимола, который придает образцам характерный запах	[31, 36]
Цветочных почек гвоздики (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Образцы майонеза устойчивы к окислению в течение 6 месяцев хранения при комнатной температуре без изменения органолептических и физико-химических показателей за счет содержащегося в эфирном масле эвгенола	[37]

стандартного отклонения (m). При определении статистической достоверности использовались критерии Shapiro-Wilk, Mann-Whitney и t-критерий Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе обобщены сведения по влиянию растительных антиоксидантов на процесс окислительной порчи майонеза (табл. 1).

Согласно данным таблицы 1 эффективность природных антиоксидантов в составе майонезов обусловлена антимикробным действием фенольных веществ и компонентов эфирных масел, что обеспечивает их консервирующий эффект. Как было сказано выше, терпенам присуща антиоксидантная активность, что доказано в эксперименте при исследовании влияния бетулина на качество и окислительную стабильность образцов майонеза в течение срока хранения – 60 суток при $t = 2 \pm 1$ °С.

В ходе дегустации установлено, что цвет контрольного образца равномерный светло-жел-

тый, опытного – равномерный кремовый; запах контрольного и опытного образцов – приятный, свойственный майонезу высокого качества с ощутимыми тонами яичного желтка и горчицы; вкус образцов – приятный, нежный, свойственный майонезу высокого качества, в меру острый, с легким привкусом горчицы; консистенция образцов однородная, сметанообразная. Результаты определения физико-химических показателей качества и антиоксидантной активности образцов представлены в таблице 2

Как видно из данных таблицы 2, внесение функционального пищевого ингредиента бетулина в опытный образец майонеза не привело к снижению или отклонению от допустимых ГОСТ 31762-2012 значений. Наблюдается снижение значений кислотного числа: в свежеработанных образцах значение кислотного числа составило для опытного 0,013 г/дм³, для контрольного – 0,033 г/дм³; по истечении 60 суток хранения произошло его увеличение в 1,4 и 2,3 раза соответственно. Контрольный образец имеет более высокое значение

Таблица 2. Физико-химические свойства образцов майонеза в течение срока хранения (n = 5, M ± m)

Table 2. Physical and chemical properties of mayonnaise samples during shelf life (n = 5, M ± m)

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 31761-2012	Контрольный образец		Опытный образец	
		Продолжительность хранения, сутки			
		0	60	0	60
Массовая доля влаги, %	*	25,2 ± 0,7	26,7 ± 0,7	23,0 ± 0,7	23,5 ± 0,7
pH, ед.	3,5–5,0**	3,8 ± 0,1	4,3 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,6 ± 0,1
Кислотность, в перерасчете на уксусную кислоту, г/дм ³	Не более 1,0	0,032 ± 0,001	0,074 ± 0,001	0,012 ± 0,001	0,017 ± 0,001
Массовая доля жира, %	Не менее 50,0	64,0 ± 1,0	64,0 ± 1,0	64,0 ± 1,0	64,0 ± 1,0
Массовая доля яичных продуктов, %	Не менее 1,0	11,1 ± 0,3	11,1 ± 0,3	11,1 ± 0,3	11,1 ± 0,3
Стойкость эмульсии, % не разрушенной эмульсии	Не менее 98	99,0 ± 0,5	96,0 ± 0,5	99,0 ± 0,5	98,0 ± 0,5
Эффективная вязкость при температуре 20 °С, Па×с (при скорости сдвига D _r = 3 с ⁻¹)	Не менее 5,0**	6,5 ± 0,5	6,3 ± 0,5	6,5 ± 0,5	6,5 ± 0,5
Перекисное число, мэкв/кг	Не более 10,0***	2,6 ± 0,1	16,7 ± 0,1	0,3 ± 0,1	2,1 ± 0,1
Антиоксидантная активность, ед.	****	0,55 ± 0,02	0,05 ± 0,02	5,20 ± 0,02	0,60 ± 0,02

* в соответствии с техническим документом на продукт конкретного наименования; ** значения, рекомендуемые ГОСТ 31761-2012;

*** по ТР ТС 024/2011; **** не регламентируется.

* based on the technical document for the product; ** values recommended by State Standard 31761-2012; *** TR CU 024/2011;

**** not regulated.

перекисного числа как изначально, так и по истечении 60 суток хранения. Это свидетельствует о высокой активности бетулина в составе опытного образца. Перекисное число говорит о накоплении продуктов окисления, происходящее с течением времени и ускоряющееся в присутствии кислорода, под воздействием света и высокой температуры. Исходя из данных таблицы 2, можно сделать вывод о том, что при большом значении перекисного числа значение антиоксидантной активности будет уменьшаться до 2,60 мэкв/кг у контрольного образца и до 0,21 мэкв/кг у опытного, по истечении 60 суток – 16,7 и 2,14 мэкв/кг соответственно. Значение антиоксидантной активности опытного образца в 10 раз выше, чем в контрольном, как в начале хранения, так и по истечении 60 суток. Спустя 60 суток у опытного образца значение данного показателя приблизилось к значению свежеприготовленного контрольного образца майонеза без бетулина.

Микробиологические показатели, являющиеся основными показателями безопасности пищевой масложировой продукции, определены в образцах майонеза на соответствие требованиям ТР ТС 024/2011 (табл. 3).

Установлено отсутствие патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл и бактерий группы кишечной палочки, в контрольном и опытном образцах майонеза в течение срока хранения. Количество дрожжей составило в свежеприготовленном контрольном образце $2,5 \times 10^2$ и $4,0 \times 10^2$ КОЕ/г по истечении 60 суток, в опытном – $1,0 \times 10^2$ КОЕ/г в течение всего срока хранения.

Плесени в свежеприготовленных образцах майонеза не обнаружены. По истечении срока хранения плесени не обнаружены в опытном образце, тогда как в контрольном их значение составило 60 КОЕ/г.

Обобщая полученные в процессе хранения результаты по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям образцов майонеза можно сделать следующий вывод относительно срока хранения майонеза, обогащенного бетулином. При выбранном стандартном режиме хранения ($t = 2 \pm 1$ °С) в герметичной стерильной стеклянной таре образец показал высокую стабильность в течение 60 суток без признаков микробиологической порчи и утраты качества. В контрольном образце обнаружена плесень в количестве, превышающем безопасное значение, а также на 60 % увеличилось содержание дрожжей по сравнению с исходным значением. Таким образом, можно сделать вывод о положительном влиянии бетулина на сохраняемость майонеза за счет устойчивости по отношению к микроорганизмам и окислительным процессам, способствующим накоплению в жирах свободных жирных кислот и продуктов их превращения, в том числе кетонов и альдегидов. Доказано образование интермедиатов, способствующих порче жиросодержащих продуктов питания и наносящих вред здоровью человека [38]. Представленные факты позволяют рассматривать бетулин как натуральный консервант для жиросодержащих продуктов.

Доказано, что бетулин подавляет процессы перекисного окисления липидов, в результате

Таблица 3. Микробиологические показатели образцов майонеза в течение срока хранения (n = 5, M ± m)

Table 3. Microbiological parameters of mayonnaise samples during shelf life (n = 5, M ± m)

Наименование показателя	Значение по ТР ТС 024/2011	Контрольный образец		Опытный образец	
		Продолжительность хранения, суток			
		0	60	0	60
Бактерии группы кишечной палочки, в 0,1 г продукта	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Дрожжи, КОЕ/г	Не более $5,0 \times 10^2$	$2,5 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$
Плесени, КОЕ/г	Не более 50	Не обнаружено	60	Не обнаружено	Не обнаружено

которых образуются активные формы кислорода. Мишенями для их атаки являются ненасыщенные жирные кислоты и фосфолипиды в составе цитоплазматических мембран [39].

Возникающий на пике воспалительной реакции типичный окислительный стресс характеризуется резким повышением активности прооксидантной системы (тиобарбитурчувствительные продукты и общая оксидантная активность) с последующей активацией ферментов антиоксидантной защиты и интегративного показателя общей антиоксидантной активности. Данная модель позволяет оценить стимулированное свободно-радикальное окисление как взаимодействие прооксидантного и антиоксидантного процессов. При исследовании антиоксидантной активности майонеза с бетулином в экспериментах *in vivo* получены результаты, представленные в таблице 4.

На модели острого токсического гепатита установлено ингибирование окисления липидов печени крыс опытной группы, получавших майонез с бетулином. Об этом свидетельствуют данные по увеличению активности антирадикального фермента супероксиддисмутазы. Падение показателя общей антиоксидантной активности свидетельствует о стимулировании неферментативных факторов

антиоксидантной активности при употреблении майонеза. Падение обусловлено присутствием в нем бетулина.

Согласно литературным данным ингибирующее действие бетулина связано с вовлечением спиртовых групп в процесс окисления, где происходит обмен активных радикалов на оксипероксильные радикалы, в структуре которых существует внутримолекулярная водородная связь. Это снижает их активность в реакциях роста цепи свободно-радикальных процессов. В ингибирование процесса перекисного окисления липидов наибольший вклад вносит первичный гидроксил при C_{28} молекулы бетулина, что составляет более половины эффективности всей структуры бетулина в целом. Учитывая характер процессов свободно-радикального окисления, моделируемых *in vivo*, можно сделать вывод о том, что майонез с бетулином способен подавлять процесс перекисидации посредством прямой нейтрализации свободных радикалов, т. е. выступать в качестве их «ловушек».

Выводы

Изучена возможность внесения в майонез тритерпенового спирта бетулина, выделенного из бересты березы *Betula pendula* Roth. Доказана его эффективность как антиоксиданта, способствующего

Таблица 4. Влияние майонеза с бетулином на показатели окислительного стресса крови крыс (M ± m, n = 10)

Table 4. Effect of mayonnaise with betulin on oxidative stress in rat blood (M ± m, n = 10)

Показатель крови	Контрольная 1 (интактная)	Контрольная 2 (с CCl_4 – гепатитом)	Опытная (CCl_4 – гепатит + майонез с бетулином)
Общая оксидантная активность, %	$28,7 \pm 1,3$	$45,4 \pm 1,6^*$	$23,1 \pm 1,8^*$
Общая антиоксидантная активность, %	$56,7 \pm 2,2$	$67,3 \pm 1,3^*$	$58,2 \pm 2,1$
Тиобарбитурчувствительные продукты, мкмоль	$2,8 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,3^*$	$2,6 \pm 0,4$
Каталаза, %	$15,4 \pm 1,2$	$26,3 \pm 1,6^*$	$21,7 \pm 0,3^*$
Супероксиддисмутазы, %	$12,9 \pm 0,8$	$26,9 \pm 1,1^*$	$29,2 \pm 0,5^*$

* $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной (интактной) группой 1.

* $P \leq 0,05$ compared with control 1.

увеличению срока хранения майонеза за счет снижения значений кислотного и перекисного чисел. В свежеработанных образцах значение кислотного числа составило 0,013 и 0,033 г/дм³ для опытного и контрольного образцов соответственно. По истечении 60 суток хранения произошло его увеличение в 1,4 и 2,3 раза соответственно. Значение перекисного числа в 8–10 раз выше в контрольном образце на протяжении всего срока хранения по сравнению с опытным. Бетулин способствовал замедлению процессов окисления триацилглицеридов: антиоксидантная активность опытного образца составила 5,00 ед. АОА в начале срока хранения и 0,50 ед. АОА по истечении 60 суток, контрольного – 0,50 и 0,06 ед. АОА соответственно. В опытном образце бетулин замедляет скорость роста колоний микроорганизмов, тогда как в контрольном образце содержание дрожжей увеличилось в 1,6 раза, а плесеней превысило допустимое значение на 20 %. Функциональные свойства опытных образцов майонеза с бетулином доказаны в экспериментах *in vivo* на модели острого токсического гепатита крыс. На основании биохимических исследований плазмы крови животных установлено, что употребление майонеза с бетулином способствует укреплению антиоксидантной защиты организма, выражающейся в положительном влиянии на активность антиокислительных ферментов, которые

принимают участие в разрушении органических перекисей, особенно перекисей липидов, нарушающих строение клеточных мембран.

Критерии авторства

Е. В. Аверьянова – руководство исследованием, описание полученных экспериментальных данных и написание рукописи. М. Н. Школьникова – разработка концепции и консультация в ходе эксперимента, редактирование рукописи. О. В. Чугунова – обработка и анализ полученных данных, литературный обзор, подготовка и оформление статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.V. Averyanova supervised the research, described the experimental data, and wrote the manuscript. M.N. Shkolnikova developed the concept, provided consultations, and proofread the manuscript. O.V. Chugunova processed and analyzed the obtained data, wrote the review, and formatted the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Fenoglio D, Soto-Madrid D, Alarcón Moyano J, Ferrario M, Guerrero S, Matiacevich S. Active food additive based on encapsulated yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract: effect of drying methods on the oxidative stability of a real food matrix (mayonnaise). *Journal of Food Science and Technology*. 2021;58(4):1574–1584. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04669-y>
2. McClements DJ, Decker E. Interfacial antioxidants: A review of natural and synthetic emulsifiers and coemulsifiers that can inhibit lipid oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66(1):20–25. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05066>
3. Yang S, Verhoeff AA, Merckx DWH, van Duynhoven JPM, Hohlbein J. Quantitative spatiotemporal mapping of lipid and protein oxidation in mayonnaise. *Antioxidants*. 2020;9(12). <https://doi.org/10.3390/antiox9121278>
4. Decker EA, McClements DJ, Bourlieu-Lacanal C, Durand E, Figueroa-Espinoza MC, Lecomte J, *et al.* Hurdles in predicting antioxidant efficacy in oil-in-water emulsions. *Trends in Food Science and Technology*. 2017;67:183–194. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.001>
5. Ghorbani Gorji S, Smyth HE, Sharma M, Fitzgerald M. Lipid oxidation in mayonnaise and the role of natural antioxidants: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 2016;56:88–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.002>
6. Reshetnik EI, Babukhadiya KR, Derzhapolskaya YuI, Gribanova SL. Study of enriching components that provide functional and technological properties of albumin cottage cheese. *ESSUTM Bulletin*. 2020;78(3):21–26. (In Russ.).
Изучение обогащающих компонентов, обеспечивающих функционально-технологические свойства альбуминового творога / Е. И. Решетник [и др.] // Вестник ВСГУТУ. 2020. Т. 78. № 3. С. 21–25.
7. Yuferova AA, Sudareva BA, Dubnyak YaV. The use of natural antioxidants in dairy technology. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products*. 2021;(2):98–107. (In Russ.).
Юферова А. А., Сударева М. А., Дубняк Я. В. Применение природных антиоксидантов в технологии молочных продуктов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 98–107.
8. Sheveleva TL. Nonconventional vegetable raw materials in bakery recipes. *Bulletin of KSAU*. 2021;167(2):143–150. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-143-150>

9. Zobkova ZS, Fursova TP, Kotenkova EA, Zenina DV. Impact of yogurt enriched with protein, betulin and bioflavonoids on growth and biochemical indices of blood in experimental animals. *Storage and Processing of Farm Products*. 2018;(4):118–125. (In Russ.).

Влияние йогурта обогащенного белком, бетулином и биофлавоноидами на рост и биохимические показатели крови экспериментальных животных / З. С. Зобкова [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. № 4. С. 118–125.

10. Simonenkova AP, Mamaev AV, Masalov VN, Luneva ON, Demina EN, Sergeeva EYu. Evaluation of the quality and safety of butter with an antioxidant complex of natural origin (birch bark extract and Aloe Vera). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032004>

11. Krolevets AA, Myachikova NI, Grebennik MM, Andreenkov VS. Nanostructured betulin in fermented dairy functional foods. *Food Products Commodity Expert*. 2017;(9):35–41. (In Russ.).

Применение наноструктурированного бетулина при производстве кисломолочных функциональных продуктов питания / А. А. Кролевец [и др.] // *Товаровед продовольственных товаров*. 2017. № 9. С. 35–41.

12. Presnova GA, Tyurina NA. Betulin containing birch bark extract is a natural ingredient for the creation of specialized food products (Birch world). *Bread products*. 2016;(3):32–33. (In Russ.).

Преснова Г. А., Тюрина Н. А. Бетулинсодержащий экстракт бересты – натуральный ингредиент для создания специализированных продуктов питания // *Хлебопродукты*. 2016. № 3. С. 32–33.

13. Zhang W, Jiang H, Yang J, Jin M, Du Y, Sun Q, *et al.* Safety assessment and antioxidant evaluation of betulin by LC-MS combined with free radical assays. *Analytical Biochemistry*. 2019;587. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.113460>

14. Chen H, Xiao H, Pang J. Parameter optimization and potential bioactivity evaluation of a betulin extract from white birch bark. *Plants*. 2020;9(3). <https://doi.org/10.3390/plants9030392>

15. Vasilenko IK, Semenchenko VF, Frolova LM, Konopleva GE, Parfent'eva EP, Skul'te IV. The pharmacological properties of the triterpenoids from birch bark. *Eksperimental'naiia i klinicheskaia farmakologiya*. 1993;56(4):53–55.

16. Flekhter OB, Karachurina LT, Nigmatullina LR, Sapozhnikova TA, Baltina LA, Zarudii FS, *et al.* Synthesis and pharmacological activity of betulin dinicotinate. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2002;28(6):494–500. <https://doi.org/10.1023/A:1021297600187>

17. Shapekova NL, Aymakov OA, Safarov RZ, Almanov GA. Bioactivity of betulin, betulinaldehyde, and their derivatives. *Conference Proceedings: Global Science and Innovations IV*; 2018. Sofia. Astana: ECID DARA; 2018. p. 122–131. (In Russ.).

Биоактивность бетулина, бетулинового альдегида и их производных / Н. Л. Шапекова [и др.] // *Conference Proceedings: Global Science and Innovations IV*. Астана, 2018. P. 122–130.

18. Averyanova EV, Shkolnikova MN, Tsyganok SN, Khmelev VN, Shakura VA. Method of obtaining betulin. *Russia patent RU 2640587C1*. 2018.

Способ получения бетулина: пат. 2640587C1 Рос. Федерация. № 2017104346 / Аверьянова Е. В. [и др.]; заявл. 09.02.2017; опубл. 10.01.2018; Бюл. № 1. 10 с.

19. Gorelikova GA, Shigina YeV, Mayurnikova LA, Tereschuk LV. Research of antioxidant properties of extracts of herbs. *Storage and Processing of Farm Products*. 2007;(3):26–30. (In Russ.).

Исследование антиоксидантных свойств экстрактов лекарственных растений / Г. А. Гореликова [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2007. № 3. С. 26–30.

20. Trofimov AN, Klabukova IN, Kislitsyn AN, Tkachenko YuA. Food fatty composition for functional feeding and method of production thereof. *Russia patent RU 2335146C1*. 2008.

Пищевая жировая композиция для функционального питания и способ ее получения: пат. 2335146C1 Рос. Федерация. № 2006143350/13 / Трофимов А. Н. [и др.]; заявл. 08.12.2006; опубл. 10.10.2008; Бюл. № 28. 15 с.

21. Dubovaya EV, Bessonova VP, Lyzhenko II. Effect of a complex of pollutants on the content of sugars and total acidity of the dog rose and cinnamon rose pulp. *Issues of Ecology and Conservation in the Forest-Steppe and Steppe*. Samara: Samara State University; 1995. 128–134 p. (In Russ.).

Дубовая Е. В., Бессонова В. П., Лыженко И. И. Влияние комплекса загрязнителей на содержание сахаров и общую кислотность мякоти плодов розы собачьей и розы коричной // *Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах*. Самара: Самарский государственный университет, 1995. С. 128–134.

22. Gülçin İ. Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*. 2012;86(3):345–391. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>

23. Jacobsen C, Hartvigsen K, Lund P, Adler-Nissen J, Hømler G, Meyer AS. Oxidation in fish-oil-enriched mayonnaise: 2. Assessment of the efficacy of different tocopherol antioxidant systems by discriminant partial least squares regression analysis. *European Food Research and Technology*. 2000;210(4):242–257. <https://doi.org/10.1007/s002179900070>

24. Jacobsen C, Hartvigsen K, Lund P, Thomsen MK, Skibsted LH, Hømler G, *et al.* Oxidation in fish oil-enriched mayonnaise: 4. Effect of tocopherol concentration on oxidative deterioration. *European Food Research and Technology*. 2001;212(3):308–318. <https://doi.org/10.1007/s002170000251>

25. Kaur D, Wani AA, Singh DP, Sogi DS. Shelf life enhancement of butter, ice cream, and mayonnaise by addition of lycopene. *International Journal of Food Properties*. 2011;14(6):1217–1231. <https://doi.org/10.1080/10942911003637335>
26. Lagunes-Galvez L, Cuvelier ME, Ordonnaud C, Berset C. Oxidative stability of some mayonnaise formulations during storage and daylight irradiation. *Journal of Food Lipids*. 2002;9(3):211–224. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2002.tb00220.x>
27. Milani Adeli M, Mizani M, Ghavami M, Eshratbadi P. The physico-chemical influences of yellow mustard paste-comparison with the powder in mayonnaise. *Journal of Food Processing and Technology*. 2013;4(3). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000210>
28. Tananuwong K, Tewaruth W. Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice. *LWT – Food Science and Technology*. 2010;43(3):476–481. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.09.014>
29. Kishk YFM, Elsheshetawy HE. Effect of ginger powder on the mayonnaise oxidative stability, rheological measurements, and sensory characteristics. *Annals of Agricultural Sciences*. 2013;58(2):213–220. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2013.07.016>
30. Altunkaya A, Hedegaard RV, Harholt J, Brimer L, Gökmen V, Skibsted LH. Oxidative stability and chemical safety of mayonnaise enriched with grape seed extract. *Food and Function*. 2013;4(11):1647–1653. <https://doi.org/10.1039/C3FO60204D>
31. Gavahian M, Hashemi SMB, Mousavi Khaneghah A, Mazaheri Tehrani M. Ohmically extracted Zenyan essential oils as natural antioxidant in mayonnaise. *International Food Research Journal*. 2013;20(6):3189–3195.
32. Li C-Y, Kim H-W, Li H, Lee D-C, Rhee H-I. Antioxidative effect of purple corn extracts during storage of mayonnaise. *Food Chemistry*. 2014;152:592–596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.152>
33. Kazantseva IL, Tyrsin YuA, Ramazaeva LF, Manujlova ML. Mayonnaise sauce. Russia patent RU 2514415C1. 2014. Соус майонезный: пат. 2514415C1 Рос. Федерация. № 2012153079/13 / Казанцева И. Л. [и др.]; заявл. 07.12.2012; опубл. 27.04.2014; Бюл. № 12. 8 с.
34. Tyrsin YuA, Kazantseva IL. Perspective natural supplements for mayonnaise with functional properties. Message 2. Green tea extract. *Fat and oil processing industry*. 2014;(4):21–23. (In Russ.).
Тырсин Ю. А., Казанцева И. Л. Перспективные натуральные добавки для майонезов с функциональными свойствами. Сообщение 2. Экстракт зеленого чая // Масложировая промышленность. 2014. № 4. С. 21–23.
35. Naumova NL, Lukin AA, Bets YuA, Eremina YuK. Mayonnaise sauce “Pomidorka”. Russia patent RU 2751914C1. 2021. Майонезный соус «Помидорка»: пат. 2751914C1 Рос. Федерация. № 2020134864 / Наумова Н. Л. [и др.]; заявл. 23.10.2020; опубл. 20.07.2021; Бюл. № 20. 8 с.
36. Chatterjee D, Bhattacharjee P. Use of eugenol-lean clove extract as a flavoring agent and natural antioxidant in mayonnaise: product characterization and storage study. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(8):4945–4954. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1573-6>
37. Baranauskienė R, Kazernavičiūtė R, Pukalskienė M, Maždžierienė R, Venskutonis PR. Agrorefinery of *Tanacetum vulgare* L. into valuable products and evaluation of their antioxidant properties and phytochemical composition. *Industrial Crops and Products*. 2014;60:113–122. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.047>
38. Naumova NL, Lukin AA, Koval AS. Quality formation of mayonnaise with antioxidant properties during oxidative deterioration. *Bulletin of Altai State University of Agriculture*. 2014;116(6):133–139. (In Russ.).
Наумова Н. Л., Лукин А. А., Коваль А. С. Формирование качества майонеза с антиоксидантными свойствами в процессе окислительной порчи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. Т. 116. № 6. С. 133–139.
39. Rastogi S, Pandey MM, Rawat AKS. Medicinal plants of the genus *Betula* – Traditional uses and a phytochemical-pharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*. 2015;159:62–83. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.11.010>