ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-639-652
УДК 543:504.06:663.8

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Исследование влияния контаминации воды на сохранность витаминов в соковой продукции

В. П. Юстратов, И. В. Тимощук*, А. К. Горелкина, Н. В. Гора, Н. С. Голубева, Е. В. Остапова

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 31.05.2021
Принята после рецензирования: 22.06.2021
Принята в печать: 15.07.2021

**e-mail: ecolog1528@yandex.ru*

© В. П. Юстратов, И. В. Тимощук, А. К. Горелкина, Н. В. Гора, Н. С. Голубева, Е. В. Остапова, 2021

Аннотация.
Введение. При производстве сывороточных напитков, нектаров, морсов и восстановленных соков используется вода системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Она может содержать различные контаминанты, способные вступать во взаимодействие с витаминами применяемого сырья в процессе производства напитков. Цель работы – изучить влияние трихлорметана, гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена на сохранность витаминов в соковой продукции.
Объекты и методы исследования. Водные плодовые и ягодные концентраты, используемые в производстве нектаров, приготовленные на воде без контаминантов и при наличии трихлорметана, трилена, хлористого этилена, гидроксибензола и хлорфенола. Определение содержания биологически активных веществ (витаминов) водных плодовых и ягодных концентратов проводили с применением капиллярного зонального электрофореза. Интенсивность окраски водных концентратов из плодов и ягод контролировали методом молекулярно-абсорбционной спектроскопии в видимой области спектра. Содержание контаминантов устанавливали методом газовой хроматографии.
Результаты и их обсуждение. Исследована сохранность витаминов в нектарах при контаминации воды (трихлорметаном, триленом, хлористым этиленом, гидроксибензолом и хлорфенолом), используемой в качестве сырья. Показано, что трихлорметан не вступает в химическое взаимодействие с биологически активными веществами напитков. Установлено значительное снижение концентрации аскорбиновой кислоты, каротина, тиамина, рибофлавина, холина и пиридоксина в нектарах. Это подтверждено уменьшением содержания трилена, хлористого этилена, гидроксибензола и хлорфенола. В зависимости от присутствующего органического вещества контаминация воды приводит к снижению содержания в готовом продукте каротина на 7–35 %, витамина B_1 на 10–100 %, B_2 на 11–100 %, B_4 на 8–45 %, B_6 на 8–100 %. Механизм взаимодействия контаминантов и биологически активных веществ теоретически обоснован.
Выводы. Установлено влияние контаминантов органической природы, присутствующих в воде (гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена), на сохранность витаминов в соковой продукции. Химическое взаимодействие хлорорганических контаминантов воды и витаминов соковой продукции подтверждено уравнениями химических реакций. Снижение содержания витаминов в процессе производства нектаров без предварительной доочистки воды от токсичных и канцерогенных веществ приведет к снижению качества и безопасности пищевых продуктов.

Ключевые слова. Вода, трихлорметан, гидроксибензол, хлорфенол, трилен, хлористый этилен, нектары

Финансирование. На базе (оборудовании) Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ в рамках соглашения № 075-12021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) и Кемеровским государственным университетом (КемГУ) (уникальный идентификатор контракта RF----2296.61321X0032).

Для цитирования: Исследование влияния контаминации воды на сохранность витаминов в соковой продукции / В. П. Юстратов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 639–652. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-639-652.

Original article
Available online at http://fptt.ru/eng

Effect of Water Contamination on the Preservation of Vitamins in Juices

Vladimir P. Yustratov, Irina V. Timoshchuk*, Alena K. Gorelkina, Natalia V. Gora, Nadezhda S. Golubeva, Elena V. Ostapova

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: May 31, 2021

Accepted in revised form: June 22, 2021
Accepted for publication: July 15, 2021

**e-mail: ecolog1528@yandex.ru*

© V.P. Yustratov, I.V. Timoshchuk, A.K. Gorelkina, N.V. Gora, N.S. Golubeva, E.V. Ostapova, 2021

Abstract.
Introduction. Whey drinks, fruit nectars, and reconstituted juices are usually based on domestic water. This water may contain various contaminants, which can interact with vitamins in fruit drinks. The research objective was to study the impact of trichloromethane, hydroxybenzene, chlorophenol, trichloroethylene, and ethylene chloride on the state of vitamins in juice products.
Study objects and methods. The study featured aqueous fruit and berry concentrates, used in fruit nectar production. The control sample contained water without contaminants, while the test samples involved trichloromethane, trichloroethylene, ethylene chloride, hydroxybenzene, and chlorophenol. Capillary zone electrophoresis made it possible to determine bioactive substances (vitamins) in aqueous fruit and berry concentrates. Molecular absorption spectroscopy in visible spectrum was used to check the color intensity. Gas chromatography helped to analyze the content of contaminants.
Results and discussion. The experiment tested vitamin preservation in fruit nectars based on water contaminated with trichloromethane, trichloroethylene, ethylene chloride, hydroxybenzene, and chlorophenol. Trichloromethane did not react with bioactive substances. Trichloroethylene, ethylene chloride, hydroxybenzene, and chlorophenol lowered the content of ascorbic acid, carotene, thiamine, riboflavin, choline, and pyridoxine. Depending on the organic matter, water contamination led to a decrease in carotene by 7–35%, vitamin B_1 – by 10–100%, B_2 – by 11–100%, B_4 – by 8–45%, and B_6 – by 8–100 in the finished product. The paper introduces a theoretic substantiation of the interaction between the contaminants and the bioactive substances.
Conclusion. Water, contaminated with such organic substances as hydroxybenzene, chlorophenol, trichloroethylene, and ethylene chloride, proved to affect the vitamin preservation in juices, which was illustrated by chemical equations. Therefore, juice production requires preliminary water purification because toxic and cancerogenic substances can decrease the quality and food safety of the finished product.

Keywords. Water, trichloromethane, hydroxybenzene, chlorophenol, trilene, ethylene chloride, nectars

Funding. The research was conducted on the premises of the Research Equipment Sharing Center of Kemerovo State University, agreement No. 075-12021-694 dated August 5, 2021, between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) and Kemerovo State University (KemSU) (contract identifier RF ----2296.61321X0032).

For citation: Yustratov VP, Timoshchuk IV, Gorelkina AK, Gora NV, Golubeva NS , Ostapova EV. Effect of Water Contamination on the Preservation of Vitamins in Juices. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):639–652. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-639-652.

Введение

Современный период развития человечества характеризуется усилением негативных техногенных факторов. Повсеместно наблюдается антропогенное загрязнение окружающей среды минеральными и органическими загрязнителями различных отраслей промышленности. Контаминация ими питьевой воды и пищевых продуктов может привести к ухудшению здоровья и снижению продолжительности жизни людей. 95 % контаминантов поступают в организм алиментарным путем, т. е. с пищевыми продуктами и питьевой водой [1–4]. Согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ, утвержденной 20.01.2020 г., одним из важнейших национальных интересов государства в сфере продовольственной безопасности является обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией. Качество продукции определяется не только соблюдением технологического процесса приготовления и уровнем санитарно-гигиенических условий, но и составом входящих в нее компонентов.

К продуктам массового потребления относят напитки. Рынок безалкогольных напитков в России четко сегментирован. На рисунке 1 представлена доля соковой продукции в общем объеме употребляемых напитков россиянами: 16 % минеральные воды, 31 % газированные напитки, 53 % соки, нектары и сокосодержащие напитки [5]. Наибольшую популярность в данной линейке напитков имеют нектары, широко представленные

Рисунок 1. Потребительский спрос
на безалкогольные напитки в России

Figure 1. Consumer demand for soft drinks in Russia

в торговой сети. Употребление нектаров способствует утолению жажды, пополнению организма человека необходимыми полезными нутриентами, которые повышают сопротивляемость к инфекциям и стимулируют процессы обмена веществ [6, 7]. В нектарах содержатся пищевые волокна, которые помогают перистальтике кишечника и способствуют выведению токсинов из организма. Проблема сохранения и поддержания здоровья человека алиментарным путем в последнее время приобретает особую значимость и актуальность благодаря современным достижениям нутрициологии, химии и экологии пищи [8–16]. В нектарах присутствуют различные витамины, хоть и в меньших концентрациях, чем в соках.

Согласно нормативно-технической документации нектары – это безалкогольные напитки, в состав которых входит вода, сахар, пюреобразные съедобные части свежих фруктов, натуральный фруктовый или концентрированный сок. Технология изготовления нектаров включает несколько этапов: мойку сырья, удаление косточек и других несъедобных частей плодов и овощей, измельчение, протирание. Полученное пюре либо предварительно сконцентрированный сок нагревают до 100–110 °С в течение 30–40 с и охлаждают до комнатной температуры. Затем добавляют воду и перемешивают. В водный плодово-ягодный концентрат вносят растворы сахарозы и лимонной кислоты, согласно рецептурам, пастеризуют, охлаждают, гомогенизируют, стерилизуют при температуре 110–115 °С и разливают. На пищевых производствах используется водопроводная вода [17]. При хлорировании природных вод, содержащих природные (гумус, фенол) и антропогенные (нефть, нефтепродукты и др.) загрязнения, образуется до 50 летучих галогенорганических соединений. То есть в процессе водоподготовки на стадии использования дезинфектанта вероятна контаминация воды побочными галогенорганическими продуктами обеззараживания: трихлорметаном, гидроксибензолом, хлорфенолом, триленом и хлористым этиленом. Данные контаминанты относятся к 1 и 2 классу опасности и обладают токсическим и канцерогенным действием при поступлении в живые организмы [18]. По содержанию контаминантов органической природы классическая схема водоподготовки в РФ не всегда обеспечивает санитарно-токсикологические нормативы качества питьевой воды, соответствующие требованиям СанПиН 2.1.3685-21, введенного в действие 01.03.2021 г. Это связано с возможностью образования различных продуктов деструкции органических веществ или новых соединений. Порой более токсичных, чем исходные.

Исходя из химических свойств галогенорганических продуктов обеззараживания, можно предположить, что исследуемые контаминанты могут взаимодействовать с компонентами соковой продукции, в том числе биологически активными веществами, оказывая негативное влияние на качество нектаров. В связи с этим исследования, направленные на изучение влияния контаминантов органической природы, присутствующих в воде (гидроксибензола, трихлорметана, хлорфенола, трилена и хлористого этилена), на качество пищевых продуктов (сохранность витаминов), являются актуальными и своевременными [19–22]. Целью настоящей работы является изучение влияния трихлорметана, гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена на сохранность биологически активных веществ (витаминов) в соковой продукции (витаминов группы Б).

Объекты и методы исследования

Объекты исследования: водные плодовые концентраты (груша, яблоко) и водные ягодные концентраты (арония черноплодная, апельсин, брусника, вишня, клубника, крыжовник, малина, облепиха, черная смородина), приготовленные без контаминантов и при наличии трихлорметана, трилена, хлористого этилена, гидроксибензола и хлорфенола. Содержание контаминантов (10 ПДК) соответствовало максимально возможному их повышению в воде системы хозяйственно-питьевого водоснабжения в различные сезоны года, установленному по результатам многолетних наблюдений [23].

Содержание витаминов в образцах проводили методом капиллярного зонального электрофореза [24–27]. Интенсивность окраски водных концентратов из плодов и ягод контролировали методом молекулярно-абсорбционной спектроскопии в видимой области спектра (380–760 нм), выбирая

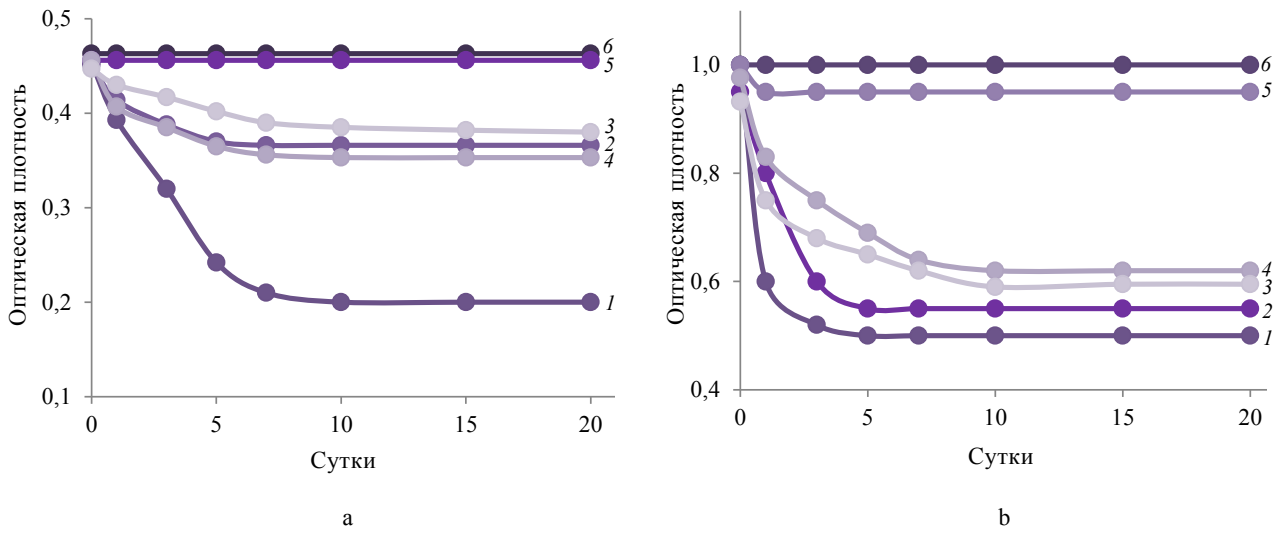

Рисунок 2. Изменение окраски водных концентратов из ягод крыжовника (a) и апельсина (b), содержащих трилен (*1*), хлористый этилен (*2*), хлорфенол (*3*), гидроксибензол (*4*), трихлорметан (*5*) и без органических контаминантов (*6*)

Figure 2. Color intensity of aqueous concentrates from gooseberries (a) and orange (b) containing trilene (*1*), ethylene chloride (*2*), chlorophenol (*3*), hydroxybenzene (*4*), trichloromethane (*5*), and without organic contaminants (*6*)

длину волны в зависимости от цвета образцов. Содержание провитамина А – спектрофотометрически после экстракции петролейным эфиром (ГОСТ Р 54058-2010). Содержание гидроксибензола, трихлорметана, хлорфенола, трилена и хлористого этилена – методом газожидкостной хроматографии (ГОСТ Р31951-2012). Исследования проводили в течение 20 суток.

Результаты и их обсуждение

Содержание каротина (мг/100 г) в образцах водных концентратов ягод и плодов, приготовленных на воде без контаминантов, составило: арония черноплодная – 0,1; брусника – 0,05; вишня – 0,077; клубника – 0,03; крыжовник – 0,2; малина – 0,012; облепиха – 1,5; черная смородина – 0,13; апельсин – 0,071; яблоко – 0,027; груша – 0,014. Химическое взаимодействие гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена с провитамином А экспериментально подтверждено уменьшением содержания витамина в исследуемых образцах водных ягодных и плодовых концентратов. Изменение интенсивности окраски водных ягодных концентратов на примере образцов с крыжовником (a) и апельсином (b) в присутствии контаминантов представлено на рисунке 2.

Исследования по сохранности интенсивности окраски водных ягодных и плодовых концентратов в присутствии трихлорметана показали стабильность окраски. Водные ягодные концентраты вишни, клубники и малины в присутствии хлористого этилена практически не изменили интенсивность цвета за весь период исследований. Максимальное изменение интенсивности отмечено в присутствии трилена и гидроксибензола. У водного ягодного концентрата черной смородины наибольшее снижение интенсивности цвета отмечено в присутствии трилена, наименьшее – в присутствии хлорфенола и гидроксибензола. Наименьшее снижение интенсивности цвета в присутствии хлорфенола, наибольшее – в присутствии трилена зафиксировано у водных ягодных концентратов аронии черноплодной, крыжовника и облепихи. У водных ягодных (брусника, апельсин) и плодовых концентратов (яблок, груша) наблюдается равномерное снижение окраски в присутствии органических контаминантов хлорфенола, гидроксибензола, трилена и хлористого этилена.

В результате взаимодействия трилена и провитамина А возможно протекание перициклических реакций с образованием циклического хлорсодержащего соединения (рис. 3a). В результате химического взаимодействия гидроксибензола и хлорфенола, содержащих спиртовую (фенольную) группу, а также ретинола вероятно образование сложных эфиров (рис. 3b, c). В результате присутствия электроотрицательного атома хлора в молекуле хлористого этилена, способствующего перераспределению электронной плотности на атомах, возможно образование водородных связей с водородом спиртовой группы каротиноидов (рис. 3d).

Снижение содержания провитамина А в водных ягодных концентратах (крыжовник, вишня, малина)

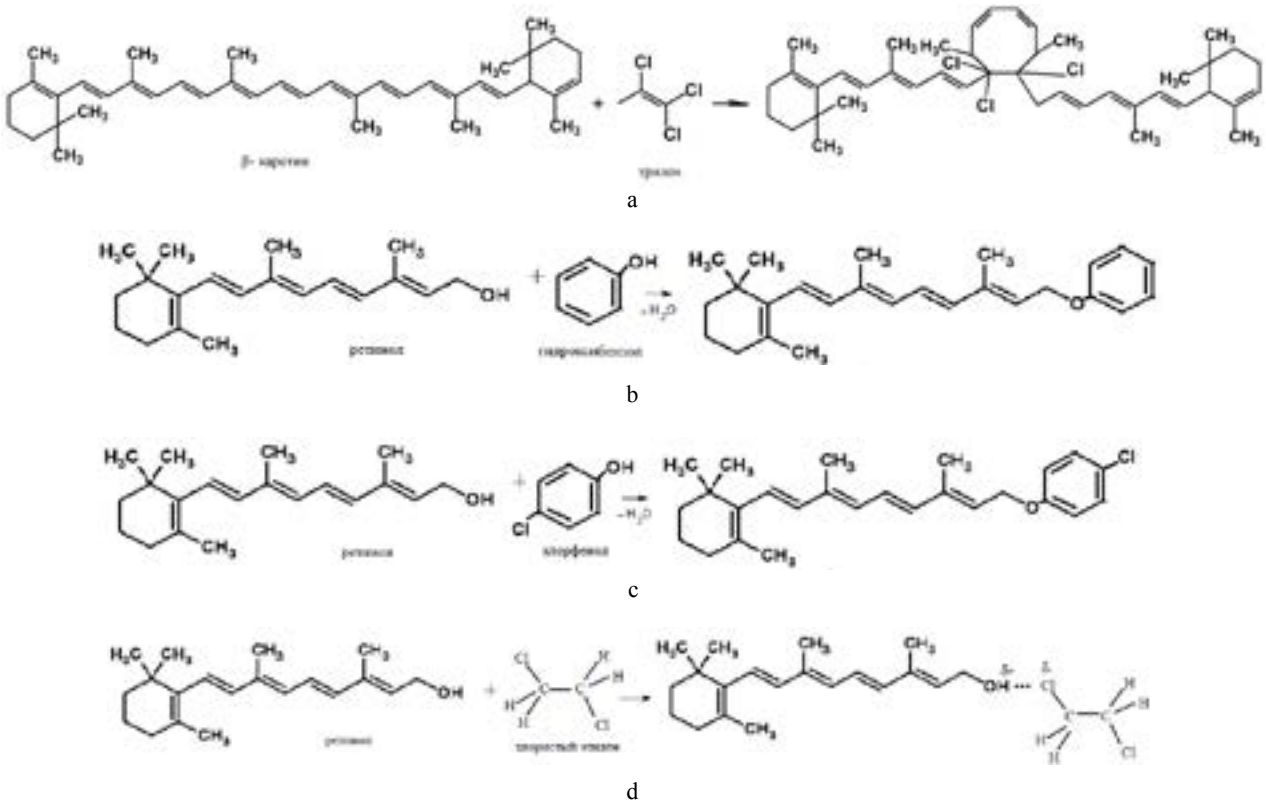

Рисунок 3. Взаимодействие провитамина А и контаминантов, содержащихся в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 3. Effect of contaminants on provitamin A in the aqueous concentrates

Таблица 1. Содержание витаминов в соковой продукции

Table 1. Vitamins in juice products

Водные плодово-ягодные концентраты	Содержание витаминов в водном плодово-ягодном концентрате, мг/100г				
	B_1	B_2	B_4	B_6	C
Арония черноплодная	0,550 ± 0,001	0,022 ± 0,001	38,000 ± 0,005	0,072 ± 0,001	98,00 ± 0,01
Клубника	0,044 ± 0,001	0,063 ± 0,001	–	0,058 ± 0,001	110,00 ± 0,01
Апельсин	0,042 ± 0,001	0,028 ± 0,001	11,000 ± 0,001	0,069 ± 0,001	34,000 ± 0,005
Крыжовник	0,015 ± 0,001	0,030 ± 0,001	–	0,034 ± 0,001	30,000 ± 0,005
Малина	0,026 ± 0,001	0,052 ± 0,001	14,000 ± 0,001	0,076 ± 0,001	25,000 ± 0,005
Брусника	0,012 ± 0,001	0,029 ± 0,001	–	–	18,000 ± 0,005
Вишня	0,034 ± 0,001	0,036 ± 0,001	9,000 ± 0,001	0,058 ± 0,001	18,000 ± 0,005
Черная смородина	0,005 ± 0,001	0,005 ± 0,001	13,000 ± 0,001	0,455 ± 0,001	198,00 ± 0,01
Клюква	0,026 ± 0,001	0,024 ± 0,001	–	0,089 ± 0,001	16,000 ± 0,001
Облепиха	0,054 ± 0,001	0,178 ± 0,001	24,000 ± 0,005	0,670 ± 0,001	450,00 ± 0,05
Груша	0,017 ± 0,001	0,028 ± 0,001	7,000 ± 0,001	0,034 ± 0,001	18,000 ± 0,005
Яблоко	0,032 ± 0,001	0,029 ± 0,001	4,000 ± 0,001	0,088 ± 0,001	13,000 ± 0,001

установлено в присутствии трилена на 32–35 %, хлористого этилена, хлорфенола и гидроксибензола на 14–15 %. В водных плодовых концентратах (яблоко и груша) – в присутствии хлористого элилена на 20–22 %, трилена на 16 %, гидроксибензола на 8 %, хлорфенола на 9 %. В ягодном концентрате облепихи отмечено снижение концентрации провитамина на 32 % в присутствии трилена, на 27 % в присутствии хлористого этилена, на 11 % в присутствии хлорфенола и гидроксилбензола. В водных ягодных концентратах черной смородины, аронии черноплодной и клубники содержание

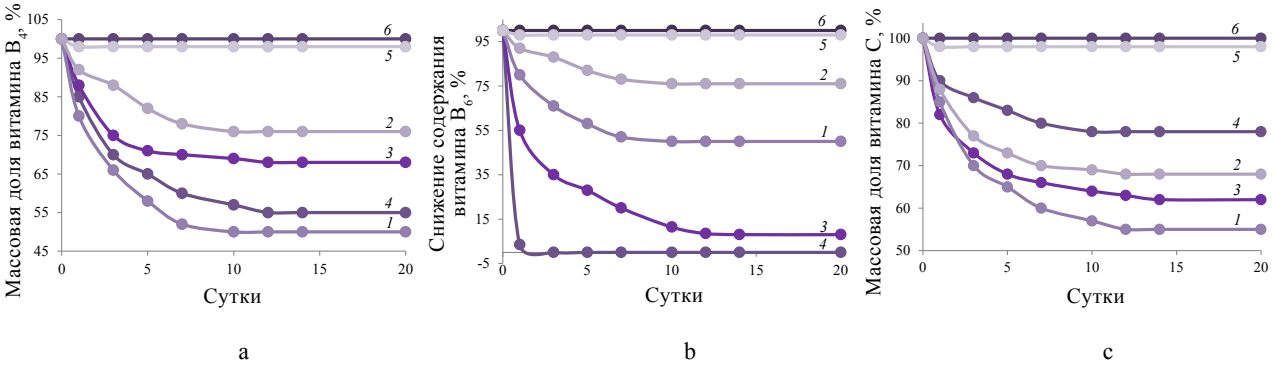

Рисунок 4. Стойкость витаминов B_4, B_6, C в водных ягодных концентратах черной смородины, содержащих трилен (*1*), хлористый этилен (*2*), хлорфенол (*3*), гидроксибензол (*4*), трихлорметан (*5*) и без органических контаминантов (*6*)

Figure 4. Vitamins B_4, B_6, and C in aqueous concentrates of blackcurrant with trilene (*1*), ethylene chloride (*2*), chlorophenol (*3*), hydroxybenzene (*4*), and trichloromethane (*5*) and without organic contaminants (*6*)

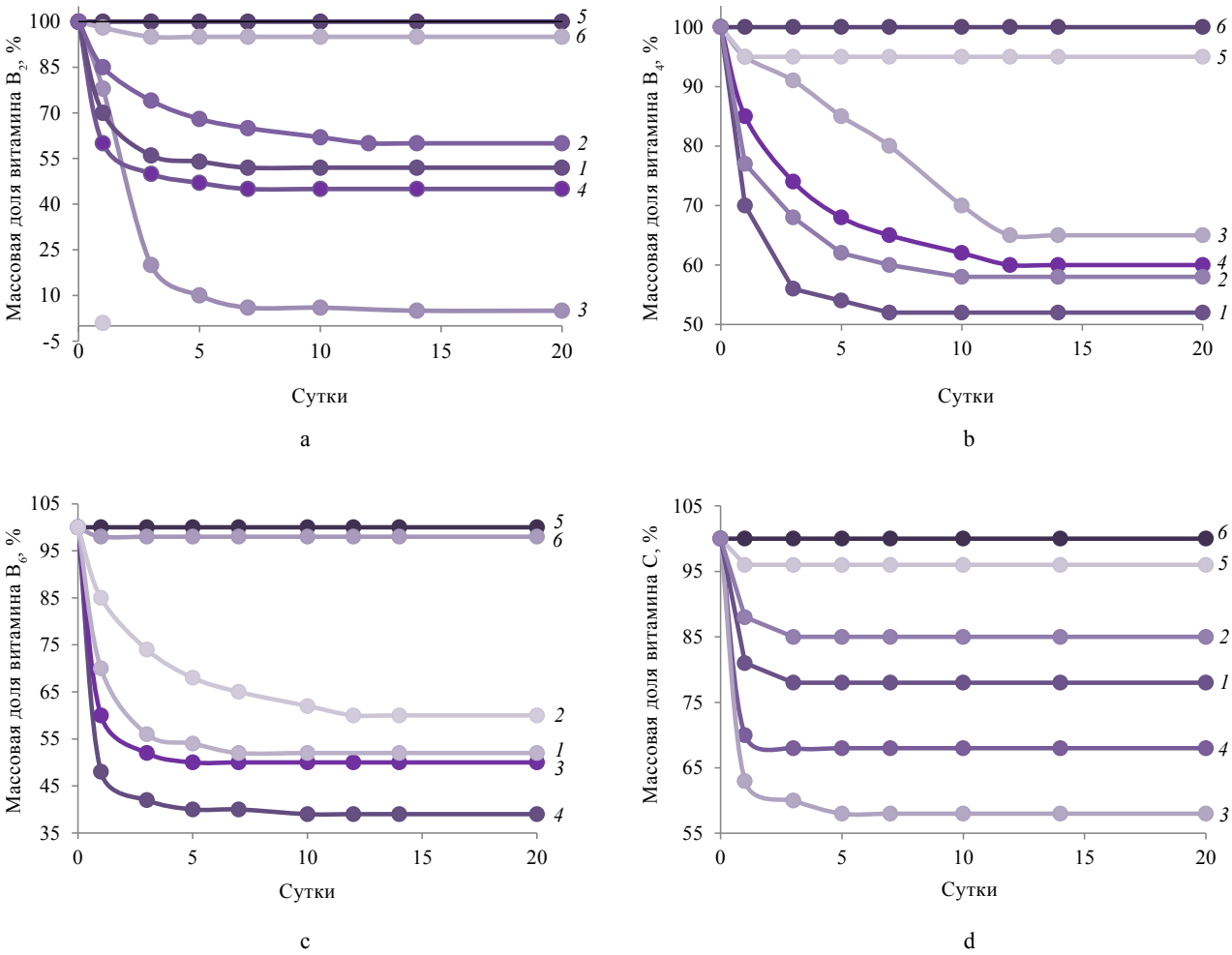

Рисунок 5. Стойкость витаминов B_2, B_4, B_6, C в водных ягодных концентратах облепихи, содержащих трилен (*1*), хлористый этилен (*2*), хлорфенол (*3*), гидроксибензол (*4*), трихлорметан (*5*) и без органических контаминантов (*6*)

Figure 5. Vitamins B_2, B_4, B_6, and C in aqueous concentrates of sea buckthorn with trilene (*1*), ethylene chloride (*2*), chlorophenol (*3*), hydroxybenzene (*4*), and trichloromethane (*5*) and without organic contaminants (6)

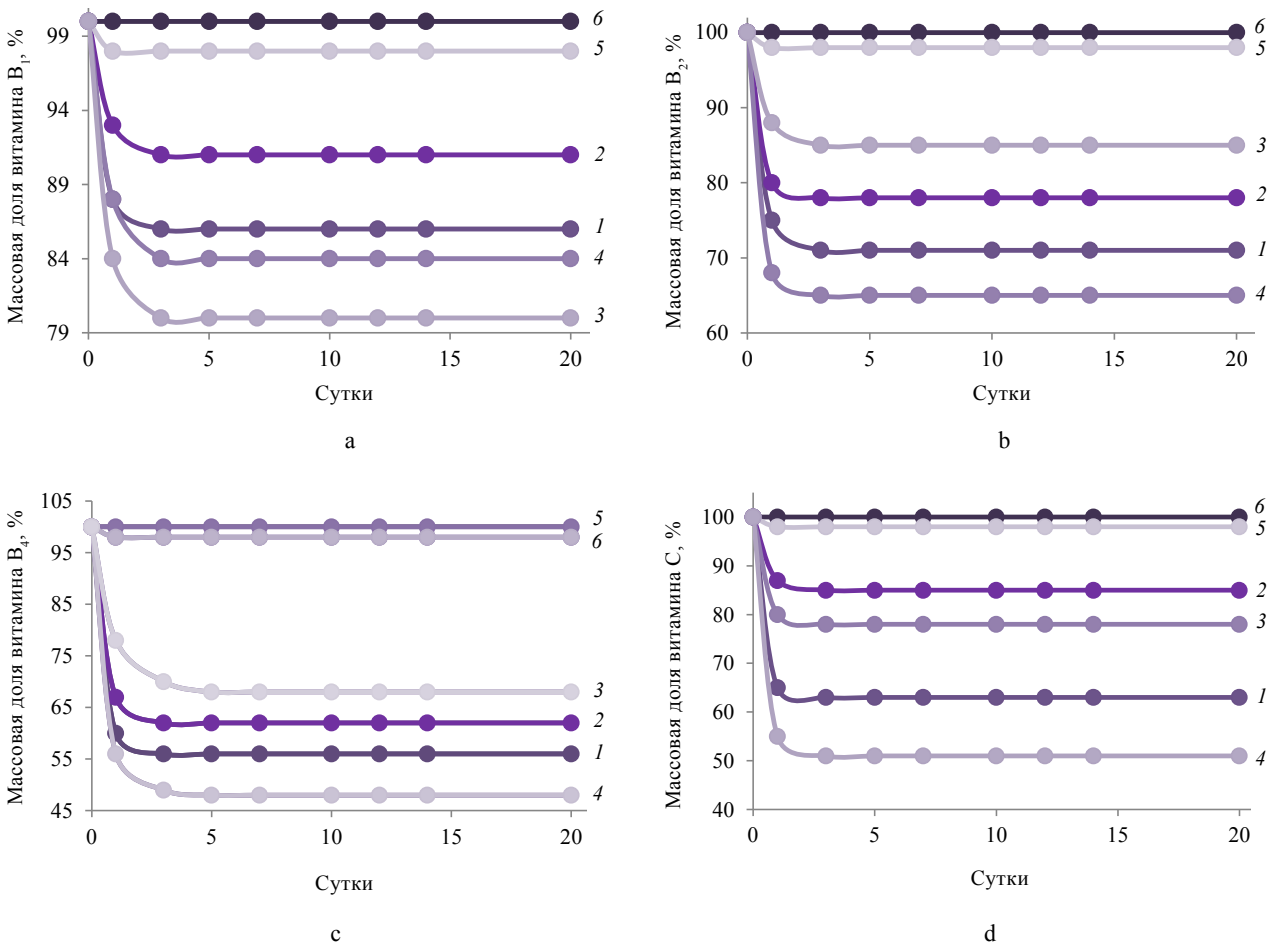

Рисунок 6. Стойкость витаминов B_1, B_2, B_4, C в водных ягодных концентратах клубники, содержащих трилен (*1*), хлористый этилен (*2*), хлорфенол (*3*), гидроксибензол (*4*), трихлорметан (*5*) и без органических контаминантов (*6*)

Figure 6. Vitamins B_1, B_2, B_4, and C in aqueous concentrates of strawberry with trilene (*1*), ethylene chloride (*2*), chlorophenol (*3*), hydroxybenzene (*4*), and trichloromethane (*5*) and without organic contaminants (*6*)

ретинола уменьшилось за весь период исследований на 25–32 % в присутствии трилена и гидроксибензола, на 7,5–14 % в присутствии хлористого этилена и хлорфенола. В водных концентратах из ягод апельсина и брусники зарегистрировано равномерное снижение содержания каротиноидов в присутствии хлористого этилена, трилена, гидроксибензола и хлорфенола на 25–27 %.

Исследовано содержание витамина С и витаминов группы В во всех образцах плодово-ягодных водных концентратов, произведенных на воде без органических контаминантов (табл. 1) и при их наличии в воде. Сохранность витаминов в образцах на примере ягодных водных концентратов из клубники, черной смородины и облепихи в присутствии трихлорметана, гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена представлена на рисунках 4–6. Экспериментальные исследования показали стабильность аскорбиновой кислоты и витаминов группы В в течение всего периода исследований в ягодных и плодовых концентратах в присутствии трихлорметана. Снижение концентрации витаминов в плодовых и ягодных концентратах, приготовленных на воде, содержащей хлорорганические контаминанты, представлено в таблице 2.

На рисунках 7–10 представлены уравнения реакций, подтверждающие химическое взаимодействие витаминов соковой продукции и органических контаминантов воды. Трилен способен взаимодействовать с витамином B_1 (рис. 7a), витамином B_2 (рис. 7b), витамином B_6 (рис. 7c) в результате реакции нуклеофильного присоединения контаминанта и гетероциклических аминов [28]. Возможно химическое взаимодействие гидроксибензола, хлорфенола, содержащих гидроксильную группу, со спиртовой группой витаминов B_1, B_2, B_4 с протеканием реакций, представленных на рисунке 8.

Таблица 2. Стойкость витаминов в соковой продукции в присутствии контаминантов в воде

Table 2. Vitamins in juice products based on contaminated water

Вита-мины	Плодовые и ягодные концентраты								
	Арония черноплодная	Вишня	Апельсин	Крыжовник	Малина	Клюква	Брусника	Груша	Яблоко
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии хлорфенола, %									
B_1	67,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	74,00 ± 0,001	45,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001
B_2	0,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	67,00 ± 0,001
B_4	45,00 ± 0,001	59,00 ± 0,001	40,00 ± 0,001	–	74,00 ± 0,001	–	66,00 ± 0,001	76,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001
B_6	20,00 ± 0,001	–	–	50,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	92,00 ± 0,001	20,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	58,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	42,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	67,00 ± 0,001
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии гидроксибензола, %									
B_1	41,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	12,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	57,00 ± 0,001
B_2	0,00 ± 0,001	82,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	78,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	78,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001
B_4	60,00 ± 0,001	66,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	–	76,00 ± 0,001	–	65,00 ± 0,001	79,00 ± 0,001	48,00 ± 0,001
B_6	32,00 ± 0,001	–	–	46,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	30,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	64,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	75,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	58,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии трилена, %									
B_1	65,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	74,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001
B_2	35,00 ± 0,001	74,00 ± 0,001	61,00 ± 0,001	79,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	63,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	50,00 ± 0,001
B_4	44,00 ± 0,001	56,00 ± 0,001	58,00 ± 0,001	–	82,00 ± 0,001	–	85,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	30,00 ± 0,001
B_6	25,00 ± 0,001	–	–	0,00 ± 0,001	56,00 ± 0,001	91,00 ± 0,001	28,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	62,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	67,00 ± 0,001	69,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001	32,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии хлористого этилена, %									
B_1	82,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	81,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	79,00 ± 0,001	85,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	66,00 ± 0,001
B_2	57,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	82,00 ± 0,001	81,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	89,00 ± 0,001	82,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001
B_4	64,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	–	92,00 ± 0,001	–	54,00 ± 0,001	90,00 ± 0,001	45,00 ± 0,001
B_6	42,00 ± 0,001	–	–	12,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	87,00 ± 0,001	24,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	32,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	77,00 ± 0,001	71,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	38,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001

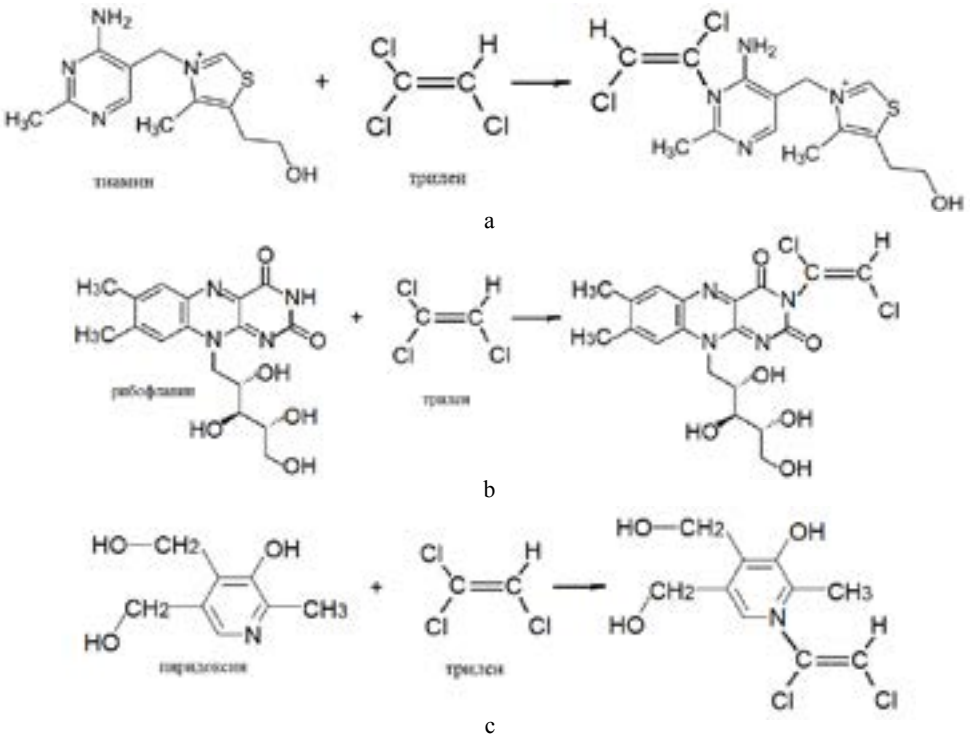

Рисунок 7. Взаимодействие трилена и витаминов в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 7. Effect of trilene on vitamins in aqueous concentrates

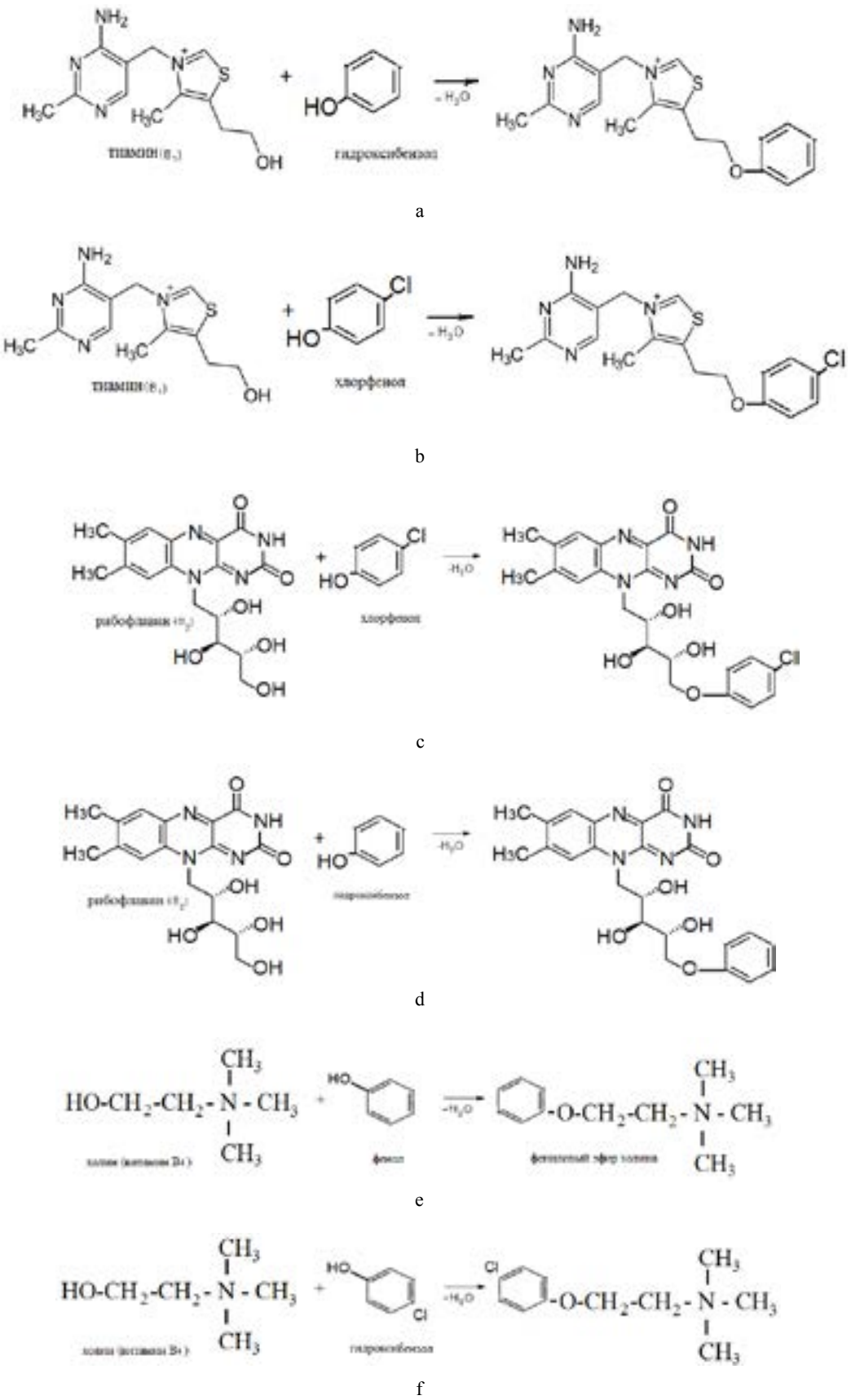

Рисунок 8. Взаимодействие гидроксибензола, хлорфенола и витаминов в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 8. Effect of hydroxybenzene and chlorophenol on vitamins in aqueous concentrates

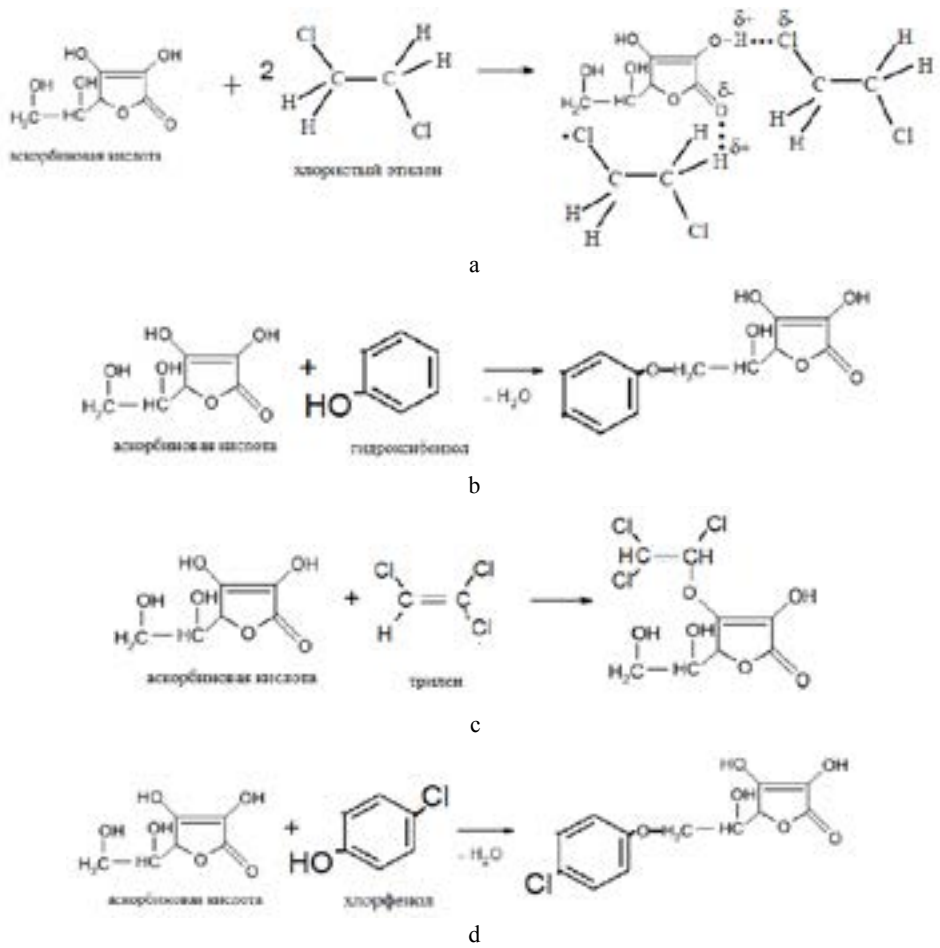

Рисунок 9. Взаимодействие контаминантов и аскорбиновой кислоты в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 9. Effect of contaminants on ascorbic acid in aqueous concentrates

Трилен способен вступать в реакции с аскорбиновой кислотой по двойной связи с образованием соответствующих сложных эфиров (рис. 9a). Гидроксильная группа гидроксибензола и хлорфенола взаимодействует с аскорбиновой кислотой с образованием соответствующих сложных эфиров (рис. 9b, c).

Для хлористого этилена характерны реакции образования водородной связи с водородом спиртовой группы и азотом ароматического кольца витаминов (рис. 9d, 10).

Химическое взаимодействие контаминантов с витаминами подтверждено соответствующим уменьшением концентрации гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена в водных концентратах из ягод и плодов. Например, в процессе хранения водных концентратов аронии черноплодной, приготовленных на воде без органических примесей и с их присутствием, концентрация контаминантов снизилась с 31,58 до 54,86 % (табл. 3). Схожие результаты отмечены и в других исследуемых водных плодовых и ягодных концентратах в присутствии гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена.

Выводы

Проведенное исследование показало, что трихлорметан, накапливающийся в воде в процессе водоподготовки, не взаимодействует с витаминами соковой продукции; гидроксибензол, хлорфенол трилен и хлористый этилен, помимо ухудшения показателей безопасности, снижают концентрацию витамина С и витаминов группы В водных плодово-ягодных концентратов, используемых при производстве нектаров. Химическое взаимодействие хлорорганических контаминантов воды и витаминов соковой продукции подтверждено уравнениями химических реакций. Следовательно, используемое в производстве нектаров сырье (вода) требует предварительной дополнительной очистки.

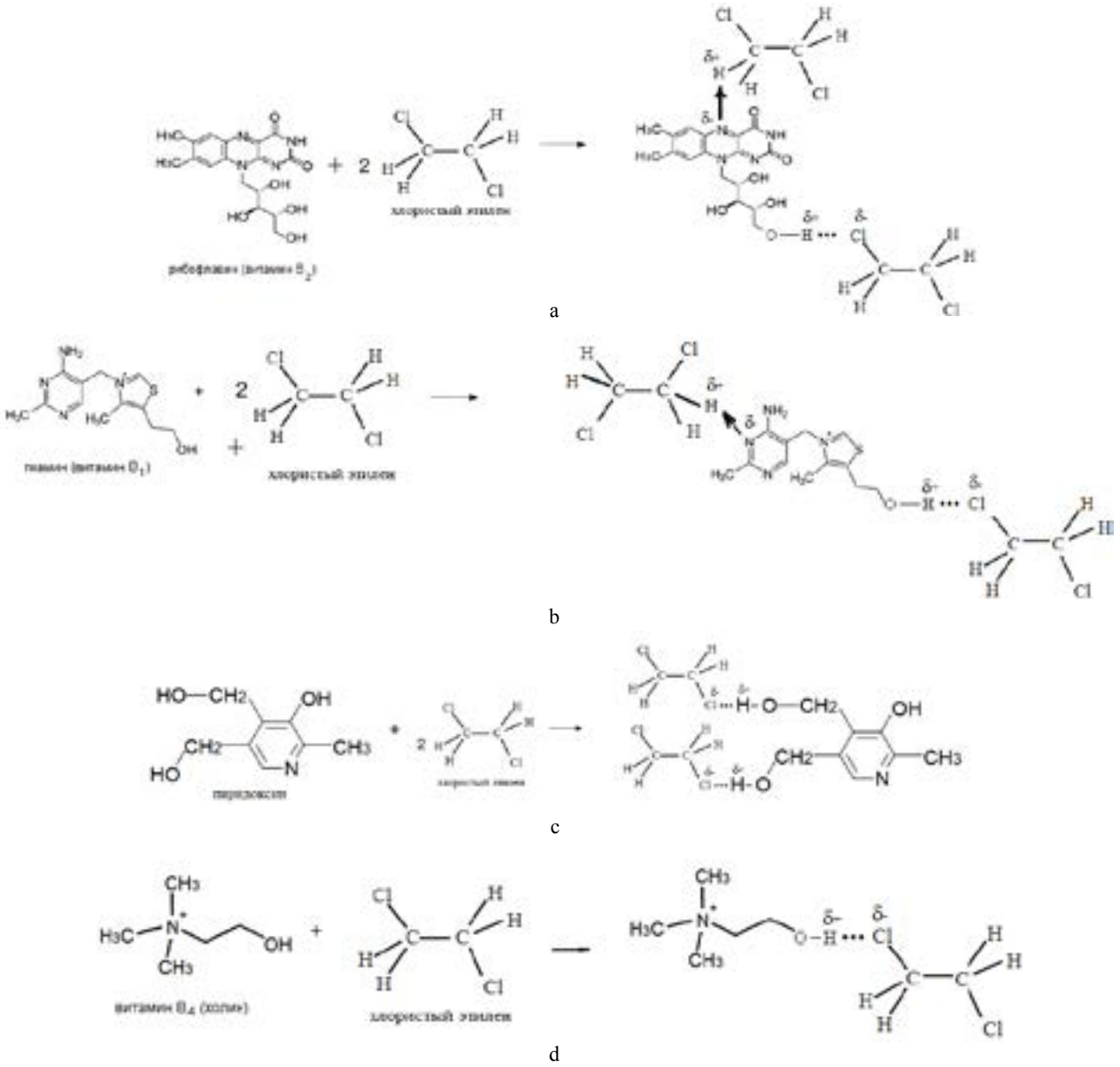

Рисунок 10. Взаимодействие хлористого этилена и витаминов в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 10. Effect of ethylene chloride on vitamins in aqueous concentrates

Таблица 3. Содержание контаминантов в водных концентратах из аронии черноплодной

Table 3. Content of contaminants in aqueous concentrates of chokeberry

Продолжительность хранения, ч	Содержание контаминантов в водных концентратах из аронии черноплодной, %					
	Вода без контаминантов	Трихлорметан	Трилен	Хлористый этилен	Гидроксибензол	Хлорфенол
24	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	89,47 ± 0,001	84,21 ± 0,001	54,88 ± 0,001	59,42± 0,005
72	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	73,68 ± 0,001	68,42 ± 0,001	46,88 ± 0,001	57,68 ± 0,005
120	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	64,15 ± 0,001	46,36 ± 0,001	55,90 ± 0,005
168	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	46,16 ± 0,001	55,90 ± 0,005
240	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	45,36 ± 0,001	55,90 ± 0,005
360	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	45,16 ± 0,001	55,90 ± 0,005
480	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	45,18 ± 0,005	55,90 ± 0,005

Критерии авторства

В. П. Юстратов руководил работой. Все авторы принимали участие в исследованиях и обработке данных и написании текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.P. Yusrtatov supervised the project. All the authors are equally responsible for the research procedure, data processing, and manuscript.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Тутельян В. А., Батурин А. К. Безопасность пищевых продуктов – приоритет инновационного развития АПК и формирования у населения здорового типа питания // Продовольственная независимость России. Т. 1 / А. В. Гордеев. М.: Технология ЦД, 2016. С. 113–144.

2. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned / F. J. Chadare [et al.] // Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 7. № 9. P. 2781–2795. https://doi.org/10.1002/fsn3.1133.

3. Fortification and health: Challenges and opportunities / J. T. Dwyer [et al.] // Advances in Nutrition. 2015. Vol. 6. № 1. P. 124–131. https://doi.org/10.3945/an.114.007443.

4. Иветич М., Горелкина А. К. Снижение контаминации воды для обеспечения качества и безопасности продукции пищевых предприятий // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 3. С. 515–524. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524.

5. Рынок безалкогольных напитков: состояние и перспективы развития / Ю. Н. Клещевский [и др.] // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2018. № 4. С. 86–94. https://doi.org/10.21603/2500-3372-2018-4-86-94.

6. Fat-soluble vitamin intestinal absorption: Absorption sites in the intestine and interactions for absorption / A. Goncalves [et al.] // Food Chemistry. 2015. Vol. 172. P. 155–160. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.021.

7. Harrison E. H., Kopec R. E. Digestion and intestinal absorption of dietary carotenoids and vitamin A // Physiology of the gastrointestinal tract / editor H. M. Said. Academic Press, 2018. P. 1133–1151. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809954-4.00050-5.

8. Production of vegetable “milk” from oil cakes using ultrasonic cavitation / E. Yu. Egorova [et al.] // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5. № 2. P. 24–35. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-24-35.

9. Биологически активные вещества *Vitis amurensis* Rupr. для профилактики преждевременного старения / Ю. А. Праскова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 1. С. 159–169. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169.

10. Nanotechnology: A novel tool to enhance the bioavailability of micronutrients / R. Arshad [et al.] // Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 9. № 6. P. 3354–3361. https://doi.org/10.1002/fsn3.2311.

11. Physicochemical properties and bioavailability of naturally formulated fat-soluble vitamins extracted from agricultural products for complementary use for natural vitamin supplements / H. J. Lee [et al.] // Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 8. № 10. P. 5660–5672. https://doi.org/10.1002/fsn3.1804.

12. Verma A. Food fortification: A complementary strategy for improving micronutrient malnutrition (MNM) status // Food Science Research Journal. 2015. Vol. 6. № 2. P. 381–389. https://doi.org/10.15740/HAS/FSRJ/6.2/381-389.

13. In vitro bioaccessibility of β-carotene, Ca, Mg and Zn in landrace carrots (*Daucus carota*, L.) / F. Zaccari [et al.] // Food Chemistry. 2015. Vol. 166. P. 365–371. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.051.

14. Determination of the intensity of bacteriocin production by strains of lactic acid bacteria and their effectiveness / M. I. Zimina [et al.] // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5. № 1. P. 108–117. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-108-117.

15. Просеков А. Ю. Ретроспективы голода: уроки прошлого и вызовы будущего // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 47. № 4. С. 5–20. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-5-20.

16. Medicinal plants to strengthen immunity during a pandemic / O. Babich [et al.] // Pharmaceuticals. 2020. Vol. 13. № 10. https://doi.org/10.3390/ph13100313.

17. Effect of priority drinking water contaminants on the quality indicators of beverages during their production and storage / T. A. Krasnova [et al.] // Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. № 1. P. 230–241. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-230-241.

18. Zhang X., Liu Y. Potential toxicity and implication of halogenated byproducts generated in MBR online-cleaning with hypochlorite // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2019. Vol. 95. № 1. P. 20–26. https://doi.org/10.1002/jctb.6199.

19. Campbell I. Macronutrients, minerals, vitamins and energy // Anaesthesia and Intensive Care Medicine. 2017. Vol. 18. № 3. P. 141–146. https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2016.11.014.

20. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned / F. J. Chadare [et al.] // Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 7. № 9. P. 2781–2795. https://doi.org/10.1002/fsn3.1133.

21. Food fortification as a complementary strategy for the elimination of micronutrient deficiencies: Case studies of large scale food fortification in two Indian States / S. Bhagwat [et al.] // Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition. 2014. Vol. 23. P. S4–S11. https://doi.org/10.6133/apjcn.2014.23.s1.03.

22. Ramakrishnan U., Goldenberg T., Allen L. H. Do multiple micronutrient interventions improve child health, growth, and development? // The Journal of Nutrition. 2011. Vol. 141. № 11. P. 2066–2075. https://doi.org/10.3945/jn.111.146845.

23. Timoshchuk I. V. Technology of afterpurification of drinking water from organic contaminants in production of foodstuff // Foods and Raw Materials. 2016. Vol. 4. № 1. P. 61–69. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-61-69.

24. Dziomba S., Kowalski P., Baczek T. Field-amplified sample stacking-sweeping of vitamins B determination in capillary electrophoresis // Journal of Chromatography A. 2012. Vol. 1267. P. 224–230. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.07.068.

25. Resolution-optimized headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) for non-targeted olive oil profiling / N. Gerhardt [et al.] // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2017. Vol. 409. № 16. P. 3933–3942. https://doi.org/10.1007/s00216-017-0338-2.

26. Determination of volatile organic compounds by HS-GC-IMS to detect different stages of *Aspergillus flavus* infection in Xiang Ling walnut / S. Wang [et al.] // Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 9. № 5. P. 2703–2712. https://doi.org/10.1002/fsn3.2229.

27. Ion mobility spectrometry coupled to gas chromatography: A rapid tool to assess eggs freshness / D. Cavanna [et al.] // Food Chemistry. 2018. Vol. 271. P. 691–696. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.204.

28. Кабердин Р. В., Поткин В. И. Трихлорэтилен в органическом синтезе // Успехи химии. 1994. Т. 63. № 8. С. 673–692.

References

1. Tutel′yan VA, Baturin AK. Bezopasnost′ pishchevykh produktov – prioritet innovatsionnogo razvitiya APK i formirovaniya u naseleniya zdorovogo tipa pitaniya [Food safety as a priority of the innovative development of the agro-industrial complex and a healthy diet among the population]. In: Gordeev AV, editor. Prodovol′stvennaya nezavisimost′ Rossii. T. 1 [Food independence of Russia. Vol. 1]. Moscow: Tekhnologiya TSD; 2016. pp. 113–144. (In Russ.).

2. Chadare FJ, Idohou R, Nago E, Affonfere M, Agossadou J, Fassinou TK, et al. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned. Food Science and Nutrition. 2019;7(9):2781–2795. https://doi.org/10.1002/fsn3.1133.

3. Dwyer JT, Wiemer KL, Dary O, Keen CL, King JC, Miller KB, et al. Fortification and health: Challenges and opportunities. Advances in Nutrition. 2015;6(1):124–131. https://doi.org/10.3945/an.114.007443.

4. Ivetich M, Gorelkina AK. Reducing water contamination to ensure the quality and safety of food products. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):515–524. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524.

5. Kleshchevsky YuN, Kartashova LV, Nikolaeva MA, Ryazanova OA. The market of soft drinks: State and development prospects. Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences. 2018;(4):86–94. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2500-3372-2018-4-86-94.

6. Goncalves A, Roi S, Nowicki M, Dhaussy A, Huertas A, Amiot M-J, et al. Fat-soluble vitamin intestinal absorption: Absorption sites in the intestine and interactions for absorption. Food Chemistry. 2015;172:155–160. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.021.

7. Harrison EH, Kopec RE. Digestion and intestinal absorption of dietary carotenoids and vitamin A. In: Said HM, editor. Physiology of the gastrointestinal tract. Academic Press; 2018. pp. 1133–1151. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809954-4.00050-5.

8. Egorova EYu, Khmelev VN, Morozhenko YuV, Reznichenko IYu. Production of vegetable “milk” from oil cakes using ultrasonic cavitation. Foods and Raw Materials. 2017;5(2):24–35. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-24-35.

9. Praskova JuA, Kiseleva TF, Reznichenko IYu, Frolova NA, Shkrabtak NV, Lawrence Yu. Biologically active substances of *Vitis amurensis* Rupr.: Preventing premature aging. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):159–169. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169.

10. Arshad R, Gulshad L, Haq I-U, Farooq MA, Al-Farga A, Siddique R, et al. Nanotechnology: A novel tool to enhance the bioavailability of micronutrients. Food Science and Nutrition. 2021;9(6):3354–3361. https://doi.org/10.1002/fsn3.2311.

11. Lee HJ, Shin C, Chun YS, Kim J, Jung H, Choung J, et al. Physicochemical properties and bioavailability of naturally formulated fat-soluble vitamins extracted from agricultural products for complementary use for natural vitamin supplements. Food Science and Nutrition. 2020;8(10):5660–5672. https://doi.org/10.1002/fsn3.1804.

12. Verma A. Food fortification: A complementary strategy for improving micronutrient malnutrition (MNM) status. Food Science Research Journal. 2015;6(2):381–389. https://doi.org/10.15740/HAS/FSRJ/6.2/381-389.

13. Zaccari F, Cabrera MC, Ramos A, Saadoun A. *In vitro* bioaccessibility of β-carotene, Ca, Mg and Zn in landrace carrots (*Daucus carota*, L.). Food Chemistry. 2015;166:365–371. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.051.

14. Zimina MI, Gazieva AF, Pozo-Dengra J, Noskova SYu, Prosekov AYu. Determination of the intensity of bacteriocin production by strains of lactic acid bacteria and their effectiveness. Foods and Raw Materials. 2017;5(1):108–117. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-108-117.

15. Prosekov AYu. Famine in retrospect: past experience and future challenges. Food Processing: Techniques and Technology. 2017;47(4):5–20. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-5-20.

16. Babich O, Sukhikh S, Prosekov A, Asyakina L, Ivanova S. Medicinal plants to strengthen immunity during a pandemic. Pharmaceuticals. 2020;13(10). https://doi.org/10.3390/ph13100313.

17. Krasnova TA, Timoshchuk IV, Gorelkina AK, Belyaeva OV. Effect of priority drinking water contaminants on the quality indicators of beverages during their production and storage. Foods and Raw Materials. 2018;6(1):230–241. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-230-241.

18. Zhang X, Liu Y. Potential toxicity and implication of halogenated byproducts generated in MBR online-cleaning with hypochlorite. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2019;95(1):20–26. https://doi.org/10.1002/jctb.6199.

19. Campbell I. Macronutrients, minerals, vitamins and energy. Anaesthesia and Intensive Care Medicine. 2017;18(3):141–146. https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2016.11.014.

20. Chadare FJ, Idohou R, Nago E, Affonfere M, Agossadou J, Fassinou TK, et al. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned. Food Science and Nutrition. 2019;7(9):2781–2795. https://doi.org/10.1002/fsn3.1133.

21. Bhagwat S, Gulati D, Sachdeva R, Sankar S. Food fortification as a complementary strategy for the elimination of micronutrient deficiencies: Case studies of large scale food fortification in two Indian States. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition. 2014;23:S4–S11. https://doi.org/10.6133/apjcn.2014.23.s1.03.

22. Ramakrishnan U, Goldenberg T, Allen LH. Do multiple micronutrient interventions improve child health, growth, and development? The Journal of Nutrition. 2011;141(11):2066–2075. https://doi.org/10.3945/jn.111.146845.

23. Timoshchuk IV. Technology of afterpurification of drinking water from organic contaminants in production of foodstuff. Foods and Raw Materials. 2016;4(1):61–69. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-61-69.

24. Dziomba S, Kowalski P, Baczek T. Field-amplified sample stacking-sweeping of vitamins B determination in capillary electrophoresis. Journal of Chromatography A. 2012;1267:224–230. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.07.068.

25. Gerhardt N, Birkenmeier M, Sanders D, Rohn S, Weller P. Resolution-optimized headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) for non-targeted olive oil profiling. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2017;409(16):3933–3942. https://doi.org/10.1007/s00216-017-0338-2.

26. Wang S, Mo H, Xu D, Hu H, Hu L, Shuai L, et al. Determination of volatile organic compounds by HS-GC-IMS to detect different stages of *Aspergillus flavus* infection in Xiang Ling walnut. Food Science and Nutrition. 2021;9(5):2703–2712. https://doi.org/10.1002/fsn3.2229.

27. Cavanna D, Zanardi S, Dall'Asta C, Suman M. Ion mobility spectrometry coupled to gas chromatography: A rapid tool to assess eggs freshness. Food Chemistry. 2018;271:691–696. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.204.

28. Kaberdin RV, Potkin VI. Trichloroethylene in organic synthesis. Russian Chemical Reviews. 1994;63(8):673–692. (In Russ.).