

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2575>  
<https://elibrary.ru/VMRNGD>

Оригинальная статья  
<https://fptt.ru>

## Оптические характеристики и индивидуальные каротиноиды пюре из мякоти тыквы в зависимости от сорта сырья и способа получения



Е. Д. Рожнов\*<sup>ID</sup>, М. Н. Школьников<sup>ID</sup>, В. Н. Аббазова<sup>ID</sup>

Уральский государственный экономический университет<sup>ROR</sup>, Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию: 26.07.2024

Принята после рецензирования: 06.11.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

\*Е. Д. Рожнов: [red@bti.secna.ru](mailto:red@bti.secna.ru),

<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

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

В. Н. Аббазова: <https://orcid.org/0000-0002-2009-8856>

© Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьников, В. Н. Аббазова, 2025



### Аннотация.

Тыква (*Cucurbita*) – бахчевая, кормовая и масличная культура, богата полезными макро- и микронутриентами, благодаря чему обладает антибактериальными, противопаразитарными, антиоксидантными и прооксидантными, противораковыми, противодиабетическими, обезболивающими и противовоспалительными свойствами. Для сохранения и стабилизации качественных характеристик тыквы, как и других свежих овощей, используются различные методы консервации. Цель данной работы заключалась в исследовании изменений оптических характеристик и содержания индивидуальных каротиноидов в пюре из мякоти тыквы в зависимости от сорта сырья и способа его получения.

Объектами исследования послужили свежие плоды тыквы шести среднеспелых сортов – Россиянка, Улыбка, Кустовая оранжевая, Грибовская зимняя, Зимняя сладкая и Алтайская 47. В исследовании использованы колориметрические (для определения цвета и цветовых различий), хроматографические (для анализа индивидуальных каротиноидов) и статистические (для обработки результатов) методы. Для получения образцов сухого пюре применены традиционный способ высушивания и ферментализ препаратами Амилоризин и Протозим.

Установлено, что сорт тыквы оказывал влияние на показатели светлоты, цветовую координату  $b^*$  и индекс потемнения, содержание лютеина и *транс-β*-каротина в пюре; технология получения – на показатели цветовой координаты  $a^*$ , цветовое различие, насыщенность и угол оттенка тона, содержание виолоксантина,  $\alpha$ - и *цис-β*-каротина. Образцы пюре из тыквы, полученные путем ферментализа, характеризовались лучшими значениями показателей светлоты, меньшими изменениями цветовых координат  $a^*$  и  $b^*$  и насыщенности цвета, большим содержанием виолоксантина, лютеина,  $\alpha$ -каротина, *транс-β*-каротина, меньшим – *цис-β*-каротина, по сравнению с образцами, высушенными традиционным способом. Определены лучшие сорта тыквы для получения пюре: по оптическим характеристикам – Россиянка, Улыбка и Кустовая оранжевая; по содержанию индивидуальных каротиноидов – Улыбка, Грибовская зимняя, Россиянка, Зимняя сладкая и Алтайская 47. Значимые прямые тесные корреляционные зависимости установлены между содержанием *транс-β*-каротина в пюре из тыквы и изменениями светлоты / цветовых координат  $a^*$ , виолоксантина и изменениями цветовых координат  $a^*$  и  $b^*$ ,  $\alpha$ -каротина и изменениями цветовых координат  $a^*$ , обратные тесные корреляционные зависимости – между содержанием *цис-β*-каротина и изменениями светлоты / цветовых координат  $a^*$  /  $b^*$ .

Представленные в работе результаты имеют практическую значимость для предприятий, занимающихся переработкой тыквы, поскольку их применение позволит организовать производство тыквенного пюре высокого качества со стабильными оптическими характеристиками.

**Ключевые слова.** Пюре овощное, тыква, консервация, ферментализ, оптические характеристики, индивидуальные каротиноиды, *цис-транс*-изомеризация

**Для цитирования:** Рожнов Е. Д., Школьников М. Н., Аббазова В. Н. Оптические характеристики и индивидуальные каротиноиды пюре из мякоти тыквы в зависимости от сорта сырья и способа получения. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 315–330. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2575>

## Effect of Production Process and Raw Material Quality on Carotenoid Content in Pumpkin Pulp and Its Optical Properties



Evgeny D. Rozhnov\*, Marina N. Shkolnikova, Venera N. Abbazova

Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

Received: 26.07.2024

Revised: 06.11.2024

Accepted: 01.04.2025

\*Evgeny D. Rozhnov: [red@bti.secna.ru](mailto:red@bti.secna.ru),

<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Marina N. Shkolnikova: <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

Venera N. Abbazova: <https://orcid.org/0000-0002-2009-8856>

© E.D. Rozhnov, M.N. Shkolnikova, V.N. Abbazova, 2025



### Abstract.

Pumpkin (*Cucurbita*) is a melon, fodder, and oilseed crop. It is rich in macro- and micronutrients that give it its antibacterial, antiparasitic, antioxidant, prooxidant, anticancer, antidiabetic, analgesic, and anti-inflammatory properties. Various storage and preservation methods make it possible to preserve and stabilize the initial quality of pumpkin. This article describes the changes in the optical properties and carotenoid content in pumpkin pulp depending on the cultivar and the production method.

The research featured fresh pumpkins of six mid-season varieties, i.e., Rossiyanka, Ulybka, Kustovaya Oranzhevaya, Gribovskaya Zimnaya, Zimnaya Sladkaya, and Altaiskaya 47. The colorimetric methods made it possible to determine the color differences during storage while the carotenoid content was analyzed by chromatography. The data obtained underwent statistical processing. The dry puree samples were obtained by conventional drying and enzymolysis with Amilorizin and Protozyme.

The pumpkin variety affected the lightness indices, the  $b^*$  color coordinate, and the browning index, as well as the content of lutein and *trans*- $\beta$ -carotene in the puree. The production method affected the  $a^*$  color coordinate, the color difference, the saturation, and the hue angle, as well as the content of violaxanthin,  $\alpha$ -carotene, and *cis*- $\beta$ -carotene. Compared with the conventional drying, the enzymolysis samples demonstrated better lightness indices, smaller  $a^*$ ,  $b^*$ , and saturation changes, a higher content of violaxanthin, lutein,  $\alpha$ -carotene, *trans*- $\beta$ -carotene, and a lower content of *cis*- $\beta$ -carotene. The best optical properties belonged to the cultivars of Rossiyanka, Ulybka, and Kustovaya Oranzhevaya. The optimal carotenoid content belonged to Ulybka, Gribovskaya Zimnyaya, Rossiyanka, Zimnyaya Sladkaya, and Altaiskaya 47. Some significant direct correlations were registered between the content of *trans*- $\beta$ -carotene and the  $a^*$  changes; violaxanthin correlated with  $a^*$  and  $b^*$ ;  $\alpha$ -carotene correlated with  $a^*$ . An inverse correlation occurred between the content of *cis*- $\beta$ -carotene and the changes in  $a^*$  and  $b^*$ .

The results may help pumpkin farms to improve the production of high-quality pumpkin puree with stable optical properties.

**Keywords.** Vegetable pulp, pumpkin, preservation, enzymolysis, optical properties, individual carotenoids, *cis-trans*-isomerization

**For citation:** Rozhnov ED, Shkolnikova MN, Abbazova VN. Effect of Production Process and Raw Material Quality on Carotenoid Content in Pumpkin Pulp and Its Optical Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):315–330. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2575>

### Введение

Тыква – перспективная культура, используемая в питании человека в свежем и переработанном виде: ее мякоть запекают, жарят, маринуют, сушат; из нее изготавливают сок, повидло, джем, варенье, цукаты, конфеты и т. д. [1]. Ценные нативные компоненты мякоти плодов тыквы, в том числе каротиноиды, переходят в получаемый продукт (табл. 1).

При переработке тыквы выход мякоти составляет 72,0–76,0 %, кожуры – 2,6–16,0 %, семян – 3,1–4,4 % [6]. Все части тыквы обладают экономическим потенциалом в виде сырья для пищевой, фармацевтической, косметической и кормовой отраслей благодаря

полезным свойствам (антибактериальные, противопаразитарные, антиоксидантные и прооксидантные, противораковые, противодиабетические, обезболивающие и противовоспалительные) [7, 8]. Кроме макро- и микронутриентов – углеводов, белков и жиров [9], плоды тыквы богаты минеральными веществами, фенольными соединениями, жирными кислотами, незаменимыми аминокислотами, витаминами, терпеноидами, сапонинами, стеринами, токоферолами и каротиноидами (до 35,1 мг/100 г) [10, 11]. Последние в организме человека поддерживают антиоксидантную защиту, уничтожая свободные радикалы и активный атомарный кислород, обеспечивая антиоксидантную

Таблица 1. Сохранность нативных веществ и каротиноидов мякоти тыквы в пищевых продуктах (примеры)

Table 1. Preserving native substances and carotenoids of pumpkin pulp in food products: examples

Пищевой продукт	Вид применяемой мякоти	Отличительные особенности пищевых продуктов	Источник
Концентрат для приготовления супа	Пюре из вареной мякоти, сухой экстракт	Опытные образцы содержали повышенное количество клетчатки, жира, белка и $\beta$ -каротина. Наблюдалось увеличение срока годности образцов с мякотью тыквы (по сравнению с контролем) за счет снижения активности воды	[2]
Сырцовые пряники	Пюре из мякоти	Опытные образцы содержали большее количество углеводов, клетчатки, магния, фосфора, железа, а также $\beta$ -каротина, витаминов РР и Е (по сравнению с контролем). Рентабельность производства пряников с использованием пюре из тыквы повысилась на 2 %	[3]
Маффины	Замена мукой из высушенной мякоти до 20 % пшеничной муки	Содержание $\beta$ -каротина в опытном образце маффинов увеличивалось почти на 30 %. Внесение большего количества тыквенной муки негативно повлияло на цвет и потребительскую приемлемость готовых маффинов	[4]
Мармелад	Пюре из мякоти, обогащенное аскорбиновой кислотой	В течение двух месяцев хранения в темноте наблюдалась сохранность $\beta$ -каротина в образце (независимо от других показателей климатического режима и наличия аскорбиновой кислоты)	[5]

и противораковую активность, фотозащиту, профилактику сердечно-сосудистых заболеваний и возрастных заболеваний глаз, противовоспалительное действие [12]. Также  $\beta$ -каротин относят к биологически активным добавкам к пище геропротекторной направленности [13]. Согласно исследованиям, проведенным V. A. Dadali *et al.* [14], диета, богатая антиоксидантами, снижает риск развития диабета, рака, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний, а также предотвращает депрессию.

Таким образом, использование каротиноидов при разработке функциональных продуктов и нутрицевтиков с улучшенными питательными свойствами из отходов и субпродуктов является одной из основных задач для многих исследователей, решение которой позволит реализовать глубокую переработку растительных сырьевых ресурсов, что важно в сложившихся экономической и экологической ситуациях [15].

Каротиноиды, являясь в первую очередь жирорастворимыми пигментами оранжевого или красного цвета, в значительной степени деградируют в процессе хранения и переработки. Основные факторы, влияющие на их содержание: температура и действие света [16].

Продукты переработки тыквы широко применяются в пищевых технологиях. Использование тыквы при производстве мясных изделий обусловлено ее положительным влиянием на процессы приготовления блюд из мясного фарша, в том числе фрикаделек и котлет. Добавление мякоти тыквы в изделия из фарша позволяет повысить стабильность мясной эмульсии, сохранить сочность блюд, улучшить сенсорное восприятие готового продукта и снизить в нем окисление липидов [17, 18]. Применение тыквенной муки как альтернативы традиционной при приготовлении

хлебобулочных и кондитерских изделий обогащает их  $\beta$ -каротином, витамином А и рядом других соединений. Умеренное добавление тыквенной муки в рецептуру таких изделий создает возможность получения оригинальных продуктов с хорошими органолептическими свойствами. В работе A. Aziz *et al.* указывается, что внесение тыквенной муки в тесто способствует улучшению клейковины, подъему хлеба и стабилизации газовых ячеек. По мнению респондентов, хлебобулочные и кондитерские изделия на основе тыквы являются приемлемыми продуктами, которые они готовы покупать [19]. Тыкву применяют в производстве напитков – соков и нектаров, а также при их купажировании с другими видами соков. Благодаря получению купажированных соков тыквы с добавлением сока ананаса, манго или клубники, удастся производить напитки высокого качества с улучшенными питательными свойствами и высоким содержанием микронутриентов [20, 21]. Современные технологии пищевых продуктов включают в себя получение тыквенной муки, порошков и других дегидратированных продуктов переработки тыквы, которые после регидратации становятся полноценными компонентами для составления рациона питания [22–24].

Основными факторами, влияющими на решение потребителя при выборе пищевого продукта, являются характеристики его внешнего вида, прежде всего цвет [25]. Цвет продукта питания – достаточно сложный атрибут качества. Потребитель на основе личного опыта, ориентируясь на цвет продукта, имеет возможность получить информацию о других его сенсорных свойствах, например вкусе или аромате, а также о его безопасности, натуральности и потенциальной пользе. Стоит отметить, что в последние несколько лет в России уверенно набирает популярность тренд

«Чистая этикетка», который стимулирует повышение спроса на продукты на основе натуральных ингредиентов, красителей и сырья. Все больше потребителей, прежде чем совершить покупку, внимательно изучают данные маркировки на товаре и считают принципиальным условием отсутствие искусственных ингредиентов. Это подтверждает мнение экспертов рынка и специалистов по здоровому питанию о том, что в последнее десятилетие образовался быстро растущий сегмент потребителей, заботящихся о своем здоровье. Как правило, это образованные и хорошо информированные люди, ищущие источники как коммерческой, так и научной информации с целью укрепления здоровья и полагающиеся на их фактическую достоверность, а не рекламу [26, 27]. Цвет высушенных продуктов – также важный фактор качества, формирующий сенсорную привлекательность. Цвет высушенного пюре тыквы, которое подлежит регидратации при получении конечных продуктов питания, должен оставаться максимально близким к цвету свежей мякоти.

Основными химическими соединениями, формирующими цвет тыквы, являются каротиноиды – преимущественно  $\beta$ - и  $\alpha$ -каротин, лютеин, зеаксантин. Каротиноиды плодового и овощного сырья привлекают все большее внимание благодаря своим функциональным свойствам [28]. Они локализируются в субклеточных органеллах (пластидах), т. е. хлоропластах и хромопластах. В хлоропластах каротиноиды главным образом связаны с белками и служат вспомогательными пигментами при фотосинтезе, тогда как в хромопластах они откладываются в кристаллической форме или в виде маслянистых капель [29].

Каротиноиды обуславливают желтый и оранжевый цвет многих фруктов и овощей. Интенсивность цвета зависит от количества сопряженных двойных связей и различных функциональных групп, содержащихся в их молекуле каротиноида [30]. И чем больше число сопряженных двойных связей, тем выше максимумы поглощения ( $\lambda_{\max}$ ) [31]. В результате цвет тыквы, а также многих фруктов и овощей варьируется от желтого, красного до оранжевого. Кроме того, при созревании плодов может происходить их этерификация жирными кислотами, что может влиять на интенсивность окраски [32].

Большая часть каротиноидов встречается в растениях в виде транс-изомеров. Однако количество *цис*-изомеров может увеличиваться за счет изомеризации *транс*-изомеров каротиноидов во время обработки пищевых продуктов [33]. В некоторых исследованиях, посвященных анализу пищевых каротиноидов и их потенциальных изомеров, большое внимание уделялось их геометрической изомеризации [34]. Имеются данные о содержании каротиноидов в свежих, замороженных и консервированных продуктах [35].

На образование и изомеризацию каротиноидов влияет множество факторов. Прежде всего их изомеризации в пищевых продуктах способствуют температура, свет и структурные различия. Окислительная деградация каротиноидов (рис. 1 [по: 36]) может приводить к *цис*-*транс*-изомеризации и образованию их эпоксидов [37].

Анализ литературных данных показал, что *цис*-изомеры каротиноидов можно идентифицировать по характеристикам спектра поглощения и относи-

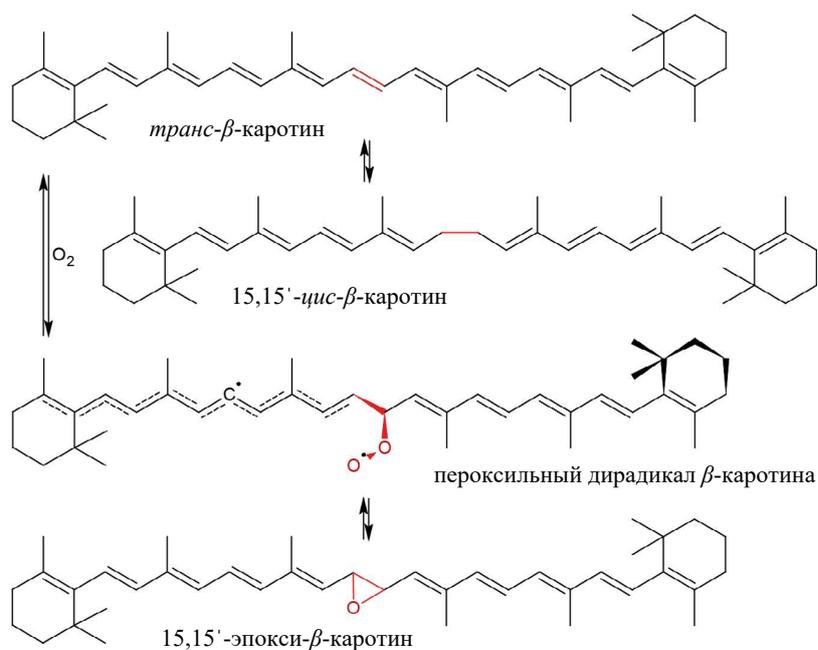


Рисунок 1. Механизм окислительной деградации каротиноидов на примере  $\beta$ -каротина [по: 36]

Figure 1. Oxidative degradation of carotenoids with  $\beta$ -carotene as an example [no: 36]

тельной интенсивности *цис*-пика. УФ-спектр *цис*-каротиноидов отличается их  $\lambda_{\max}$  в диапазоне 330–350 нм [38] с наибольшей интенсивностью, когда двойная связь расположена вблизи или в центре хромофора [39]. При этом для *транс*-каротиноидов наблюдается гипсохромный сдвиг  $\lambda_{\max}$  и меньший коэффициент экстинкции. В целом их *цис-транс*-изомеризация приводит к снижению интенсивности окраски [40, 41].

Обработка овощей повышает биодоступность каротиноидов, поскольку разрушает целлюлозную структуру растительной клетки. Экспериментальные исследования показывают, что более высокое потребление каротиноидов с пищей обеспечивает защиту от развития некоторых видов рака (например, легких, кожи, матки, шейки матки, желудочно-кишечного тракта), дегенерации желтого пятна, катаракты и других заболеваний, связанных с окислительными или свободными радикалами. Особая физиологическая активность этих соединений в организме человека как предшественников витамина А и антиоксидантов вызывает возрастающий интерес исследователей к определению их содержания в различных продуктах [42].

Вопросы сохранности каротиноидов тыквы в процессе переработки и динамика оптических характеристик продуктов из нее являются актуальными, а также основополагающими для потребителей, которым важно отсутствие сероватых и зеленоватых тонов, снижающих эстетическую привлекательность, в продуктах питания, полученных из мякоти тыквы. Анализ литературных источников показал, что исследований по изучению изменения цвета полуфабрикатов из мякоти тыквы в ходе технологических операций крайне мало. Цель настоящей работы – исследовать изменение оптических характеристик и содержание индивидуальных каротиноидов в пюре из мякоти тыквы в зависимости от ее сорта и способа получения пюре.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили свежие плоды тыквы урожая 2020–2023 гг. потребительской степени зрелости (без повреждений и признаков порчи) шести среднеспелых сортов:

- крупноплодная тыква из Свердловской области (Россиянка, Улыбка, Кустовая оранжевая) и Алтайского края (Грибовская зимняя, Зимняя сладкая);
- твердокорая тыква из Алтайского края (Алтайская 47).

В мякоти свежих плодов тыквы определяли содержание каротиноидов и показатели цвета для сравнения эффективности примененных способов получения полуфабриката – пюре.

Для проведения исследования подготовлены контрольные и опытные образцы пюре из мякоти тыквы.

Контрольные образцы получены традиционным способом высушивания: плоды тыквы промывали водопроводной водой, мякоть очищали от кожуры и семенной части, нарезали на куски размером  $1 \times 1$  см.

Затем мякоть бланшировали в кипящей воде в течение 10 мин и протирали через сетку с размером отверстий 1,0 мм – образец К1. Тыквенное пюре высушивали в вакуумном сушильном шкафу Labtex LT-VO/50 (Россия) при температуре 60–80 °С на силиконовых ковриках при толщине слоя 5–7 мм до конечной влажности 4,5 % – образец К2.

Опытные образцы получены ферментализом нативных полимеров мякоти тыквы: плоды промывали водопроводной водой, мякоть очищали от кожуры и семенной части и диспергировали в гомогенизаторе Witeg HG-15D (Witeg Labortechnik GmbH, Германия) при частоте вращения ротора 2000 об/мин. Диспергированное пюре подвергали ферментализу при 65 °С в течение 60 мин при использовании ферментных препаратов Амилоризин (ООО «Биопрепарат», Россия) и Протозим (ООО «Биопрепарат», Россия) в дозировках 25 ед. АС/г и 5 ед. ПС/г сырья соответственно – образец О1. Ферментализованное пюре высушивали в вакуумном сушильном шкафу Labtex LT-VO/50 (Россия) при температуре 60–80 °С на силиконовых ковриках при толщине слоя 5–7 мм до конечной влажности 4,5 % – образец О2.

Для исследования оптических характеристик полученных образцов пюре (предварительно все образцы доводили до содержания сухих веществ 10 % путем добавления питьевой воды) белые матовые пластины покрывали слоем продукта толщиной 5 мм и сглаживали поверхность силиконовым шпателем для исключения неровностей и образования теней. Затем с использованием цифровой фотокамеры Canon EOS 2000D Kit 18–55 mm DC (Canon, Китай) в белом боксе при цветовой температуре 6000 К делали снимки поверхности пюре. Далее снимки обрабатывали с применением открытого программного обеспечения ImageColorPicker для анализа изображений, позволяющего с использованием классического для фоторедакторов инструмента «пипетка» определить координаты цвета любой точки загруженного изображения в модели RGB. Затем при помощи цветового конвертера cielab.xyz определяли координаты цвета в трихроматических координатах XYZ.

Определение расчетных координат цвета  $L^*$  (светлота),  $a^*$  (красно-зеленая цветовая ось) и  $b^*$  (желто-синяя цветовая ось) осуществляли согласно рекомендациям ISO/CIE 11664-4:2019. Colorimetry. Part 4: CIE 1976  $L^*a^*b^*$  colour space, далее проводили оценку цветовых различий ( $\Delta E$ ) свежей мякоти контрольного и опытного образцов тыквенного пюре с использованием формулы:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

где  $\Delta L^*$  – разница между светлотой образцов;  $\Delta a^*$  – между значениями координат цвета двух образцов по зелено-красной хроматической оси;  $\Delta b^*$  – по желто-синей хроматической оси.

Светлота пищевых продуктов как оптическая характеристика обуславливает их цвет от черного (значение светлоты равно 0) до белого (значение светлоты равно 100). Отрицательное значение цветовой координаты  $a^*$  свидетельствует о преобладании зеленого, положительное – красно-фиолетового цвета. Отрицательное значение цветовой координаты  $b^*$  говорит о преобладании синего, положительное – желтого [43].

На основании значений цветковых координат  $a^*$  и  $b^*$  рассчитывали индекс насыщенности цвета (*Luminance index, LI*), который отражает, насколько тусклым или ярким является продукт [44]:

$$LI = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

В соответствии с теорией цвета смешивание чистого оттенка с черным, белым или любым другим цветом снижает его насыщенность, которая представляет собой полярную координату, в отличие от декартовых координат  $a^*$  и  $b^*$ .

Угол оттенка тона (*Hue Angle, H°*) также является количественной характеристикой, позволяющей оценивать цвет фруктов и овощей, а также продуктов их переработки [45]:

$$H^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

Угол оттенка тона показывает, насколько похож или отличается цвет изучаемого объекта от основных – красного, зеленого, синего и желтого. Угол меньший или равный  $360^\circ$  ( $0^\circ$ ) соответствует чистому красному оттенку, меньший или равный  $90^\circ$  – желтому,  $180^\circ$  – зеленому,  $270^\circ$  – синему.

Индекс потемнения (*Browning index, BI*, (безразмерная величина)), отражающий глубину процесса потемнения продукта, рассчитывали по формуле [46]:

$$BI = \frac{100(x - 0,31)}{0,17} \quad (4)$$

где

$$x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad (5)$$

Индивидуальные каротиноиды в исследуемых образцах продукции: виолаксантин (Sigma-Aldrich, CAS № 126-29-4), лютеин (Clearsynth, CAS № 127-40-2),  $\alpha$ -каротин (Sigma-Aldrich, CAS № 7488-99-5), *транс*- $\beta$ -каротин (Sigma-Aldrich, CAS № 7235-40-7), *цис*- $\beta$ -каротин (*9-cis-β-Carotene*, GlpBio Technology, CAS № 13312-52-2) – анализировали методом обращенно-фазовой ВЭЖХ с использованием хроматографа Waters с диодно-матричным детектором (Waters 2996) (Waters Corporation, США). Каротиноиды разделяли с помощью двух последовательно установленных колонок  $150 \times 4.6$ -nm RP C18, 3- $\mu$ m Nucleosyl (Interchim, Montlucon, Франция) и  $250 \times 4.6$ -nm RP C18, 5- $\mu$ m Vydac TP54 (Hesperia, США). Подвижная фаза

состояла из ацетонитрила, дихлорметана, метанола (содержащий 50 мМ ацетата аммония) и воды в соотношении 70:10:15:5 (по объему) соответственно. В качестве аналитической пробы использовали каротиноидсодержащий экстракт мякоти свежих плодов тыквы, опытных и контрольных образцов пюре. Экстракт готовили растиранием известной массы навески образца с небольшим количеством воды под слоем н-гексана. Затем его отбирали из ступки и переносили на воронку с фильтровальной бумагой. К твердому остатку добавляли новую порцию экстрагента. Экстракцию повторяли до получения бесцветной порции экстракта. Все порции экстракта объединяли, растворитель удаляли на вакуумном ротационном испарителе Stegler RI-213 (Россия). Остаток растворяли в известном объеме подвижной фазы для ВЭЖХ-определения каротиноидов. Далее раствор пропускали через насадочный фильтр в виалы, перенося их в ячейки автодозатора хроматографа. Каротиноиды детектировали при 450 нм, идентифицировали по времени удерживания и спектральному анализу (от 300 до 550 нм), в сравнении с чистыми стандартами индивидуальных каротиноидов.

При составлении общего механизма неферментативного и ферментативного окисления каротиноидов в процессе производства и хранения пищевой продукции использовали методы поиска и скрининга научной литературы, извлечение данных и их анализ, систематизацию и обобщение.

Все экспериментальные исследования проводили в пятикратной повторности, результаты представляли как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение ( $M \pm m$ ). Статистическую обработку результатов выполняли с использованием пакета Statistica 10. Для оценки изменений рассматриваемых показателей качества в процессе производства использовали двухфакторный дисперсионный анализ (независимые переменные – технология получения продукции, сорт тыквы), сравнение средних значений – тест Тьюки ( $p < 0,05$ ), корреляционный анализ (между оптическими характеристиками продукции и содержанием в ней индивидуальных каротиноидов); сила влияния – метод Снедекора ( $p < 0,05$ ).

### Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы проводили исследования цвета и цветковых различий по цветовым координатам пюре из тыквы (табл. 2–4, рис. 2–4).

Из данных таблицы 2 видно, что показатели светлоты исследуемых образцов продукции имели в основном значимые различия ( $p < 0,05$ ). На изменение показателя светлоты оказывали влияние все исследуемые факторы – сорт, технология и взаимодействие «сорт  $\times$  технология» (сила влияния 71,6; 28,0 и 0,3 % соответственно,  $p < 0,01$ ). Лучшими показателями светлоты отличались образцы из тыквы сортов Улыбка (K1, K2, O2 – сохранность 92,2; 89,8 и 92,7 % соответственно),

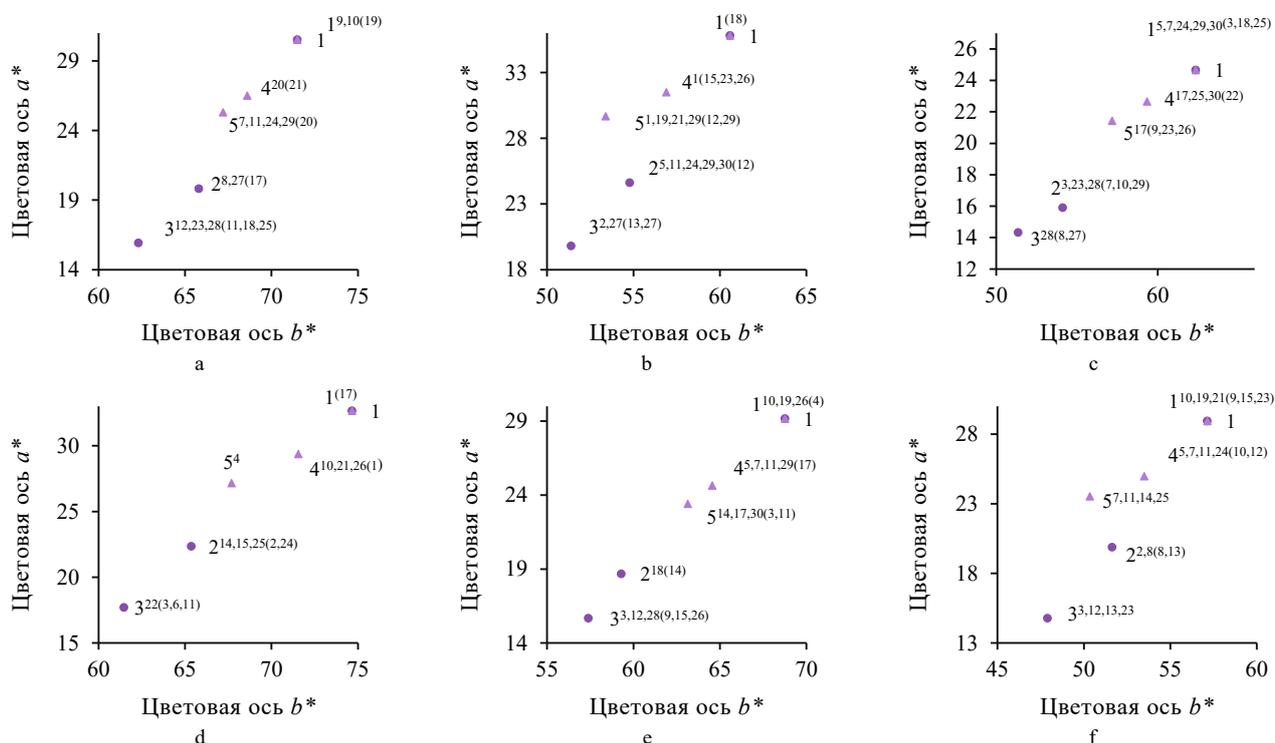
Таблица 2. Значение показателя светлоты пюре из тыквы ( $L^*$ , lightness) ( $M \pm m, n = 5$ )

Table 2. Lightness index  $L^*$  of pumpkin puree ( $M \pm m, n = 5$ )

Сорт тыквы	Мякоть свежих плодов	Образцы			
		K1	K2	O1	O2
Россиянка ( <sup>1-5</sup> )	78,19 ± 0,65 <sup>9</sup>	70,34 ± 0,47 <sup>14</sup>	68,55 ± 0,43 <sup>15,16,29</sup>	74,60 ± 0,37 <sup>7,10,11</sup>	72,12 ± 0,19 <sup>8,14,26</sup>
Улыбка ( <sup>6-10</sup> )	81,19 ± 1,50	74,88 ± 0,47 <sup>4,10,11</sup>	72,96 ± 0,46 <sup>5,26</sup>	77,55 ± 0,29 <sup>1</sup>	75,27 ± 0,36 <sup>4,7,11</sup>
Грибовская зимняя ( <sup>11-15</sup> )	74,84 ± 0,72 <sup>4,7,10</sup>	65,62 ± 0,78 <sup>27</sup>	61,04 ± 0,50 <sup>17,20,28</sup>	71,42 ± 0,37 <sup>2,5</sup>	68,56 ± 0,40 <sup>3,16,29</sup>
Зимняя сладкая ( <sup>16-20</sup> )	67,61 ± 0,71 <sup>3,15,27,29</sup>	60,36 ± 0,62 <sup>13,20</sup>	56,71 ± 0,54 <sup>22</sup>	63,96 ± 0,37 <sup>30</sup>	60,70 ± 0,44 <sup>13,17</sup>
Алтайская 47 ( <sup>21-25</sup> )	62,49 ± 0,60 <sup>28</sup>	55,95 ± 0,82 <sup>18,25</sup>	50,91 ± 0,43	58,84 ± 0,39	55,36 ± 0,59 <sup>22</sup>
Кустовая оранжевая ( <sup>25-30</sup> )	72,85 ± 1,41 <sup>5,8</sup>	66,60 ± 0,62 <sup>12,16</sup>	61,92 ± 0,35 <sup>13,21</sup>	68,79 ± 0,39 <sup>3,15,16</sup>	64,48 ± 0,26 <sup>19</sup>

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ( $p < 0,05$ ).

Note: Mean values with different superscripts are not significant ( $p < 0,05$ ).



1 – цветовые координаты, соответствующие цвету мякоти свежих плодов тыквы; 2 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца K1; 3 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца K2; 4 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца O1; 5 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца O2

Различия средних значений цветовой координаты  $a^*$  в точках с разными надстрочными индексами не существенны ( $p < 0,05$ ); различия средних значений цветовой координаты  $b^*$  в точках с разными надстрочными индексами в скобках не существенны ( $p < 0,05$ )

Рисунок 2. Цветовые координаты  $a^*$  и  $b^*$  образцов пюре из различных сортов тыквы: а – Россиянка; б – Улыбка; с – Кустовая оранжевая; д – Грибовская зимняя; е – Зимняя сладкая; ф – Алтайская 47

Figure 2. Color coordinates  $a^*$  and  $b^*$  in puree samples of different pumpkin cultivars: а – Rossiyanka; б – Ulybka; с – Kustovaya Oranzhevaya; д – Gribovskaya Zimnaya; е – Zimnaya Sladkaya; and ф – Altaiskaya 47

Россиянка (O1 – сохранность 95,6 %). Худшие показатели отмечены у образцов из сортов Грибовская зимняя (K1 – сохранность 87,7 %), Алтайская 47 (K2, O1 – сохранность 81,5 и 94,2 % соответственно), Кустовая оранжевая (O2 – сохранность 88,4 %). Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сыря,

отличалась лучшими показателями светлоты (в среднем 92,85 %), чем без него (в среднем 87,6 %).

На рисунке 2 представлены цветовые координаты  $a^*$  и  $b^*$  (в системе оценки цвета CIE Lab) исследуемых образцов, которые свидетельствуют о том, что на смещение их цветовых координат в сине-зеленую

область спектра оказывали влияние сорт тыквы, технология получения продукции и взаимодействие «сорт × технология» – сила влияния на цветовые координаты  $a^*$  составила 19,7; 79,9 и 0,3 % соответственно,  $b^*$  – 69,1; 30,1 и 0,4 % соответственно ( $p < 0,01$ ).

Наименьшие изменения цветовых координат  $a^*$  отмечены у образцов из тыквы сортов Улыбка (K1 – сохранность 68,8 %), Кустовая оранжевая (K2, O1, O2 – сохранность 58,2; 91,8 и 86,8 % соответственно). Худшие значения цветовых координат  $a^*$  зафиксированы у образцов из тыквы сортов Зимняя сладкая (K1, O1, O2 – сохранность 64,1; 84,5 и 80,3 % соответственно), Алтайская 47 (K2 – сохранность 51,1 %).

Наименьшие изменения цветовых координат  $b^*$  отмечены у образцов из тыквы сорта Россиянка (K1, K2, O1 и O2 – сохранность 92,1; 87,1; 96,1 и 94,0 % соответственно), наибольшие – у образцов из тыквы сортов Зимняя сладкая (K1 – сохранность 86,2 %), Грибовская зимняя (K2 – сохранность 82,3 %), Алтайская 47 (O1 и O2 – сохранность 93,6 и 88,1 % соответственно).

Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сырья, отличалась меньшими изменениями цветовых координат  $a^*$  (O1 и O2 – сохранность 87,9 и 82,8 % соответственно), чем без него (K1 и K2 – сохранность 66,7 и 54,0 % соответственно). Аналогичную тенденцию отметили и для изменений цветовых координат  $b^*$  – сохранность для K1, K2, O1 и O2 составила 88,9; 84,0; 94,8 и 90,9 % соответственно.

Из экспериментальных данных (рис. 3) видно, что на значение показателя цветового различия в основном оказывала воздействие технология получения пюре из тыквы (сила влияния 98,6 %,  $p < 0,01$ ), а не сорт сырья

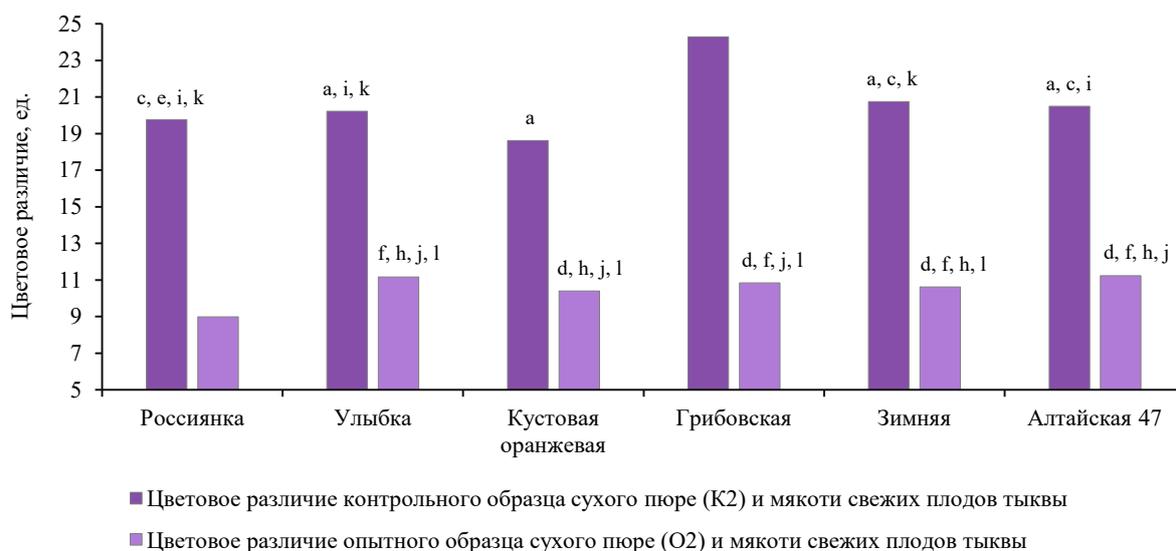
или взаимодействие «сорт × технология» (сила влияния 0,8 и 0,5 % соответственно,  $p < 0,01$ ). Наименьшие потери значений показателя отмечены у образцов из тыквы сорта Кустовая оранжевая (43,9 %), а наибольшие – сорта Грибовская зимняя (55,2 %). Значения показателя у продукции, полученной по технологии с ферментализмом сырья, практически в 2 раза выше, чем без него.

Высокие значения показателя насыщенности цвета (рис. 4) свидетельствуют о том, что доминирующие цвета мякоти тыквы – желтый и красный – являются чистыми и интенсивными.

Статистический анализ данных показал, что технология получения сухого пюре из тыквы оказывала значительное влияние на насыщенность цвета, сорт – гораздо меньше, и минимально влияло взаимодействие «сорт × технология» – сила влияния 72,9; 26,9 и 0,2 % соответственно ( $p < 0,01$ ). Наибольшие потери насыщенности цвета отмечены у образцов из сортов Алтайская 47 (K2 – 21,7 %) и Улыбка (O2 – 13,2 %), а наименьшие – из сорта Россиянка (K1 и O2 – 17,3 и 7,6 % соответственно). Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сырья, отличалась меньшими изменениями насыщенности цвета (O2 – сохранность 89,5 %), чем без него (K2 – сохранность 79,5 %).

Из данных таблицы 3 следует, что результаты смещения угла оттенка цвета исследуемых образцов сухой продукции из красно-желтой области в желтую имели в основном значимые различия ( $p < 0,05$ ).

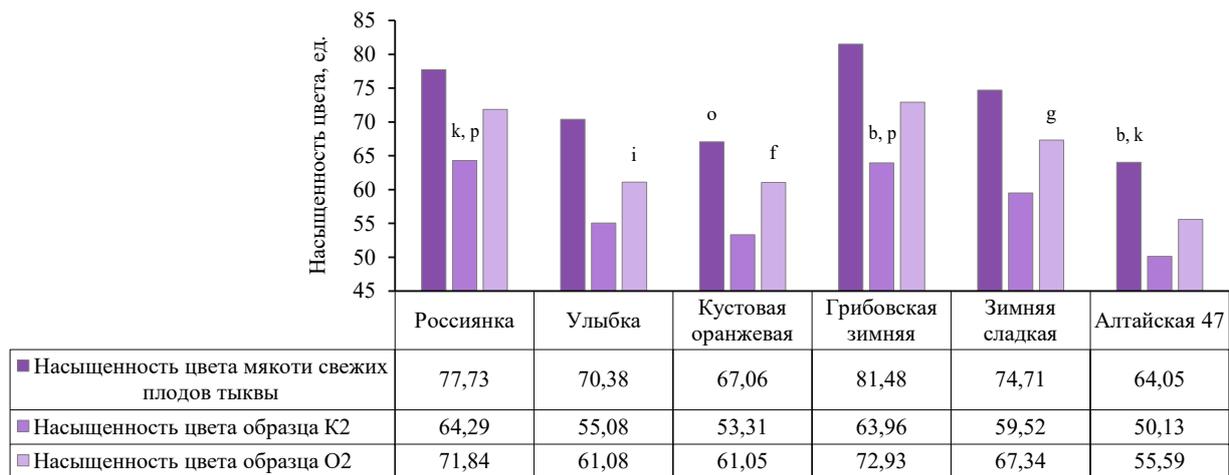
На значение угла оттенка цвета продукции оказывали существенное влияние сорт тыквы, технология получения пюре и взаимодействие «сорт × технология»



Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ( $p < 0,05$ ): Россиянка – a,b; Улыбка – c,d; Кустовая оранжевая – e,f; Грибовская зимняя – g,h; Зимняя сладкая – i,j; Алтайская 47 – k,l

Рисунок 3. Цветовые различия сухого пюре и мякоти свежих плодов тыквы

Figure 3. Color differences between dry and fresh pumpkin pulp



Значение насыщенности цвета в столбцах с разными надстрочными индексами не существенны ( $p < 0,05$ )

Рисунок 4. Насыщенность цвета сухого пюре из тыквы

Figure 4. Color saturation of dry pumpkin pulp

Таблица 3. Значение угла оттенка цвета сухого пюре из тыквы ( $n = 5$ )

Table 3. Hue angle of dry pumpkin pulp ( $n = 5$ )

Сорт тыквы	Угол оттенка тона, °		
	К2	О2	Мякоть свежих плодов
Россиянка ( <sup>a-c</sup> )	75,72	69,40 <sup>dhn</sup>	66,93 <sup>jo</sup>
Улыбка ( <sup>d-f</sup> )	68,97 <sup>bhi</sup>	60,97	59,46
Кустовая оранжевая ( <sup>g-i</sup> )	74,46 <sup>jm</sup>	69,51 <sup>bdn</sup>	68,47 <sup>dk</sup>
Грибовская зимняя ( <sup>j-l</sup> )	73,98 <sup>g</sup>	68,17 <sup>i</sup>	66,41 <sup>co</sup>
Зимняя сладкая ( <sup>m-o</sup> )	74,77 <sup>g</sup>	69,69 <sup>bh</sup>	67,06 <sup>cl</sup>
Алтайская 47 ( <sup>p-r</sup> )	72,89	64,98	63,17

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ( $p < 0,05$ ).

Note: The differences in mean values with different superscripts are not significant ( $p < 0.05$ ).

Таблица 4. Индекс потемнения сухого пюре из тыквы ( $n = 5$ )

Table 4. Browning index of dry pumpkin pulp ( $n = 5$ )

Сорт тыквы	Индекс потемнения		
	К2	О2	Нативная мякоть
Россиянка ( <sup>a-c</sup> )	205,1	201,3	188,9
Улыбка ( <sup>d-f</sup> )	153,5	140,9	131,1
Кустовая оранжевая ( <sup>g-i</sup> )	188,1	178,5	162,7
Грибовская зимняя ( <sup>j-l</sup> )	235,6	231,2	229,2
Зимняя сладкая ( <sup>m-o</sup> )	251,2	243,6	232,6
Алтайская 47 ( <sup>p-r</sup> )	205,8	204,6	201,9

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ( $p < 0,05$ ).

Note: The differences in mean values with different superscripts are not significant ( $p < 0.05$ ).

(сила влияния 19,9; 79,9 и 0,5 % соответственно,  $p < 0,01$ ). Наибольшие изменения угла оттенка цвета продукции отмечены у образцов из сортов Улыбка (К2 – на 16,0 %) и Зимняя сладкая (О2 – на 3,9 %), наименьшие – у образцов из сорта Кустовая оранжевая (К2 и О2 – на 8,8 и 1,5 % соответственно). Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сырья, отличалась меньшим изменением угла оттенка цвета, чем без него – 2,9 и 12,6 % соответственно.

Согласно данным таблицы 4, при переработке тыквы в сухое пюре, независимо от применяемого способа, происходило увеличение значения индекса потемнения продукта – сила влияния сорта тыквы, технологии получения пюре и взаимодействия «сорт × технология» соответственно 91,4; 8,1 и 0,5 % ( $p < 0,01$ ). Наибольшие изменения индекса потемнения отмечены у образцов из сортов Улыбка (К2 – на 17,1 %) и Кустовая оранжевая (О2 – на 9,7 %), наименьшие – у образцов из сортов Алтайская 47 (К2 – на 1,9 %) и Грибовская зимняя (О2 – на 0,9 %). Опытные образцы тыквенного пюре, полученные с использованием ферментализма, имели меньший прирост данного показателя, чем без него – 4,7 и 8,1 % соответственно.

Аналогичные наблюдения различий цвета пюре из тыквы в зависимости от используемых сортов сырья и технологии получения продукции согласуются с результатами исследований других авторов [47–50]. Изменения цвета могли вызываться как особенностями сырья, так и происходящими в процессе изготовления пюре окислительными реакциями, ферментативной активностью и изомеризацией  $\beta$ -каротина.

На следующем этапе проведены исследования индивидуальных каротиноидов, содержащихся в пюре из тыквы (табл. 5, рис. 5).

Таблица 5. Содержание индивидуальных каротиноидов в пюре из тыквы (M ± m, n = 5)

Table 5. Carotenoid content in dry pumpkin pulp (M ± m, n = 5)

Сорт тыквы	Массовая доля индивидуальных каротиноидов, мкг/г сухого вещества				
	Мякоть свежих плодов	Образцы			
		K1	K2	O1	O2
<b>Виолоксантин</b>					
Россиянка (1-5)	0,888 ± 0,007	0,053 ± 0,004 <sup>12</sup>	0,032 ± 0,005 <sup>8</sup>	0,213 ± 0,006 <sup>14</sup>	0,143 ± 0,003 <sup>17</sup>
Улыбка (6-10)	0,413 ± 0,003 <sup>30</sup>	0,068 ± 0,003 <sup>12</sup>	0,037 ± 0,007 <sup>3</sup>	0,186 ± 0,008 <sup>10,15,27,28</sup>	0,173 ± 0,011 <sup>9,27</sup>
Кустовая оранжевая (11-15)	0,275 ± 0,006 <sup>19,22</sup>	0,057 ± 0,003 <sup>2,7</sup>	0,091 ± 0,008	0,215 ± 0,007 <sup>4</sup>	0,196 ± 0,004 <sup>9,28</sup>
Грибовская зимняя (16-20)	0,372 ± 0,006 <sup>25</sup>	0,152 ± 0,006 <sup>5</sup>	0,113 ± 0,002	0,282 ± 0,001 <sup>11,22</sup>	0,312 ± 0,005 <sup>23</sup>
Зимняя сладкая (21-25)	0,642 ± 0,009	0,272 ± 0,004 <sup>11,19</sup>	0,313 ± 0,002 <sup>20</sup>	0,487 ± 0,001	0,362 ± 0,002 <sup>16</sup>
Алтайская 47 (26-30)	0,554 ± 0,009	0,177 ± 0,006 <sup>9,10</sup>	0,192 ± 0,003 <sup>9,15</sup>	0,383 ± 0,004	0,416 ± 0,002 <sup>6</sup>
<b>Лютеин</b>					
Россиянка (1-5)	0,736 ± 0,003 <sup>5,27</sup>	0,614 ± 0,008	0,647 ± 0,009	0,717 ± 0,011 <sup>5,28</sup>	0,727 ± 0,008 <sup>1,4,27,28</sup>
Улыбка (6-10)	1,128 ± 0,009	0,861 ± 0,009 <sup>30</sup>	0,892 ± 0,009	1,067 ± 0,012	1,084 ± 0,007
Кустовая оранжевая (11-15)	1,643 ± 0,010 <sup>22</sup>	1,233 ± 0,006	1,196 ± 0,004	1,482 ± 0,008	1,537 ± 0,005 <sup>17</sup>
Грибовская зимняя (16-20)	1,861 ± 0,008	1,543 ± 0,011 <sup>15</sup>	1,624 ± 0,009	1,691 ± 0,008	1,743 ± 0,007
Зимняя сладкая (21-25)	2,148 ± 0,011	1,646 ± 0,008 <sup>11</sup>	1,787 ± 0,004	1,982 ± 0,003	1,911 ± 0,004
Алтайская 47 (26-30)	1,115 ± 0,007	0,744 ± 0,016 <sup>1,5</sup>	0,711 ± 0,007 <sup>4,5</sup>	0,831 ± 0,005	0,869 ± 0,003 <sup>7</sup>
<b>α-каротин</b>					
Россиянка (1-5)	16,248 ± 0,057 <sup>3-5,11-15,17-19,22-25,27,28</sup>	15,119 ± 0,034 <sup>12,18,22</sup>	15,183 ± 0,027 <sup>1,4,5,12-15,17,18,22,23,27,28</sup>	15,803 ± 0,031 <sup>1,3,5,11-15,17-19,22-25,27,28</sup>	15,942 ± 0,024 <sup>1,3,4,11-15,17-19,22-25,27,28</sup>
Улыбка (6-10)	21,461 ± 0,041 <sup>9,10,16,26</sup>	18,696 ± 0,029 <sup>15,19-21,24,25,28-30</sup>	18,633 ± 0,033 <sup>7,11,15,19-21,24,25,28-30</sup>	20,622 ± 0,034 <sup>6,7,10,16,20,26,29</sup>	20,982 ± 0,047 <sup>6,9,16,26</sup>
Кустовая оранжевая (11-15)	17,688 ± 0,024 <sup>1,4,5,7,8,14,15,17,19-21,24,25,27-30</sup>	14,691 ± 0,041 <sup>1-5,13,14,17,18,22,23,27</sup>	15,237 ± 0,039 <sup>1,3-5,12,14,15,17,18,22,23,27,28</sup>	16,547 ± 0,051 <sup>1,3-5,11-13,15,17,19,22-25,27,28,30</sup>	16,943 ± 0,036 <sup>1,2-5,7,8,11,13,14,17,19-21,23-25,27-30</sup>
Грибовская зимняя (16-20)	21,457 ± 0,036 <sup>6,9,10,27</sup>	16,374 ± 0,027 <sup>1,3-5,11-15,19,22-25,27-30</sup>	14,277 ± 0,034 <sup>1-5,12,13,22,23</sup>	17,547 ± 0,031 <sup>1,4,5,7,8,11,14,15,17,20,21,24,25,27-30</sup>	18,697 ± 0,042 <sup>7-9,11,15,19,22,24,25,28-30</sup>
Зимняя сладкая (21-25)	18,743 ± 0,021 <sup>7,8,11,15,19,20,24,25,28-30</sup>	14,627 ± 0,039 <sup>1-5,12-14,17,18,23,15</sup>	15,042 ± 0,028 <sup>1,3-5,12,15,17,18,22,27,28</sup>	17,312 ± 0,028 <sup>1,4,5,7,8,11,14,15,17,19-21,25,27-30</sup>	17,694 ± 0,033 <sup>1,4,5,7,8,11,14,15,17,19,21,24,27-30</sup>
Алтайская 47 (26-30)	21,626 ± 0,023 <sup>6,9,10,16</sup>	16,426 ± 0,057 <sup>1,3-5,11-15,17,19,22,25,28,30</sup>	16,893 ± 0,039 <sup>1,3-5,7,8,11,13-15,17,19-21,23-26,27,29,30</sup>	18,672 ± 0,033 <sup>7-9,11,15,19-21,24,25,28,30</sup>	18,235 ± 0,025 <sup>7,8,11,14,15,17,19-21,24,25,27-30</sup>
<b>транс-β-каротин</b>					
Россиянка (1-5)	28,32 ± 0,036	22,422 ± 0,029 <sup>26</sup>	17,848 ± 0,032	25,938 ± 0,027	25,328 ± 0,046
Улыбка (6-10)	26,036 ± 0,054	21,847 ± 0,037	22,597 ± 0,024 <sup>16</sup>	23,877 ± 0,039	24,149 ± 0,032
Кустовая оранжевая (11-15)	19,831 ± 0,031	12,568 ± 0,038 <sup>22</sup>	13,882 ± 0,042	17,661 ± 0,024	17,312 ± 0,041 <sup>27</sup>
Грибовская зимняя (16-20)	22,666 ± 0,024	19,051 ± 0,039 <sup>29</sup>	18,932 ± 0,027	21,592 ± 0,042	21,442 ± 0,021
Зимняя сладкая (21-25)	16,679 ± 0,038	12,638 ± 0,041 <sup>12</sup>	12,371 ± 0,034	15,467 ± 0,034	14,377 ± 0,021
Алтайская 47 (26-30)	22,392 ± 0,047 <sup>2</sup>	17,231 ± 0,031 <sup>15</sup>	16,777 ± 0,022	19,066 ± 0,042 <sup>17</sup>	20,182 ± 0,031
<b>цис-β-каротин</b>					
Россиянка (1-5)	–	0,256 ± 0,007	0,692 ± 0,009 <sup>18</sup>	0,043 ± 0,006 <sup>19,24</sup>	0,345 ± 0,003 <sup>25</sup>
Улыбка (6-10)	–	0,362 ± 0,008	0,982 ± 0,003	0,086 ± 0,002 <sup>14</sup>	0,582 ± 0,006
Кустовая оранжевая (11-15)	–	0,425 ± 0,008 <sup>15</sup>	0,765 ± 0,006	0,083 ± 0,003 <sup>9</sup>	0,417 ± 0,006 <sup>12</sup>
Грибовская зимняя (16-20)	–	0,152 ± 0,009 <sup>29</sup>	0,682 ± 0,008 <sup>3</sup>	0,053 ± 0,006 <sup>4,24</sup>	0,477 ± 0,006
Зимняя сладкая (21-25)	–	0,273 ± 0,009	0,776 ± 0,002	0,052 ± 0,003 <sup>4,19</sup>	0,343 ± 0,006 <sup>5</sup>
Алтайская 47 (26-30)	–	0,392 ± 0,008	0,842 ± 0,004	0,152 ± 0,003 <sup>17</sup>	0,554 ± 0,004

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны (p < 0,05).

Note: The differences in mean values with different superscripts are not significant (p < 0.05).

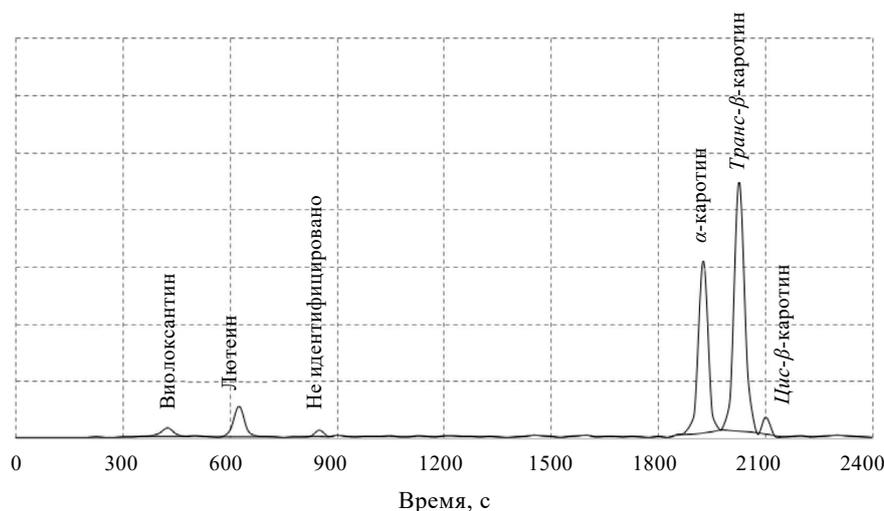


Рисунок 5. Результаты ВЭЖХ-анализа каротиноидсодержащего экстракта мякоти свежих плодов тыквы

Figure 5. HPLC analysis of carotenoid-containing extract of fresh pumpkin pulp

Содержание индивидуальных каротиноидов в пюре из тыквы различалось в зависимости от сорта и технологии получения (табл. 5). Сила влияния сорта тыквы, технологии получения, взаимодействия «сорт × технология» соответственно ( $p < 0,01$ ): виолюксантин – 21,9; 72,4 и 5,7 %; лютеин – 93,1; 3,8 и 3,1 %;  $\alpha$ -каротин – 47,2; 50,1 и 2,3 %; *транс- $\beta$ -каротин* – 69,6; 29,2 и 1,2 %; *цис- $\beta$ -каротин* – 2,8; 96,5 и 0,7 %.

Наибольшее количество виолюксантина содержалось в образцах пюре из тыквы сортов Зимняя сладкая (К1 и К2 – сохранность от первоначального количества 42,2 и 48,6 % соответственно) и Грибовская зимняя (О1 и О2 – 78,0 и 86,4 % соответственно);  $\alpha$ -каротина – из сортов Улыбка (К1 – сохранность 93,4 %) и Россиянка (К2, О1 и О2 – сохранность 93,4; 97,2 и 98,1 % соответственно); *транс- $\beta$ -каротина* – из сортов Грибовская зимняя (К1, О1 и О2 – сохранность 84,0; 95,3 и 94,6 % соответственно) и Улыбка (К2 – сохранность 86,8 %). Наименьшее количество виолюксантина было отмечено в пюре из тыквы сорта Россиянка (К1, К2, О1 и О2 – сохранность 5,9, 3,6, 24,0 и 16,2 % соответственно);  $\alpha$ -каротина – сортов Алтайская 47 (К1 и О2 – сохранность 76,0 и 84,7 % соответственно) и Грибовская зимняя (К2 и О1 – сохранность 66,5 и 81,8 % соответственно); *транс- $\beta$ -каротина* – сортов Кустовая оранжевая (К1 – сохранность 63,4 %), Россиянка (К2 – сохранность 63,0 %), Алтайская 47 (О1 – сохранность 85,1 %) и Зимняя сладкая (О2 – сохранность 86,1 %). Следует отметить, что содержание лютеина при переработке тыквы сорта Улыбка увеличилось в 6,6; 6,9; 8,2 и 8,4 раз от первоначального количества у образцов К1, К2, О1 и О2 соответственно, при этом у других сортов снизилось. Наибольшие потери отмечены в пюре из тыквы сорта Алтайская 47 (К1, К2, О1 и О2). В свежем пюре из тыквы отсутствовал *цис- $\beta$ -каротин*, но в процессе технологиче-

ской переработки он образовывался – наибольшее количество отмечено у образцов из сортов Кустовая оранжевая (К1), Улыбка (К2 и О2), Алтайская 47 (О1), а наименьшее – из сортов Грибовская зимняя (К1 и К2), Россиянка (О1) и Зимняя сладкая (О2).

Больше виолюксантина,  $\alpha$ -каротина и *транс- $\beta$ -каротина* содержалось в пюре из тыквы, полученного по технологии с ферментализмом сырья, чем без него – в среднем в 2,2; 1,1 и 1,2 раза соответственно. При изготовлении продукции по технологии без ферментализма сырья отмечены потери лютеина (в среднем 75,1 %), с ферментализмом сырья – увеличение *цис- $\beta$ -каротина* (в среднем на 2,5 %). При этом продукция, полученная по технологии без ферментализма тыквы, содержала в среднем в 2,1 раза больше *цис- $\beta$ -каротина*, чем с ним.

Экспериментальные данные о снижении / увеличении / образовании индивидуальных каротиноидов в пюре из тыквы, обусловленные сортовыми особенностями сырья (местом локализации, количеством окислительных ферментов и др.), технологией его переработки (количество и продолжительность технологических операций, температура и др.), окислительной деградацией, изомеризацией каротиноидов и др., согласуются с данными других авторов [51–54].

Установлены значимые положительные тесные корреляционные зависимости между содержанием *транс- $\beta$ -каротина* в пюре из тыквы и изменениями светлоты / цветовых координат  $a^*$  ( $r = 0,72$  и  $r = 0,71$  соответственно,  $p < 0,05$ ), виолюксантина и изменениями цветовых координат  $a^*$  и  $b^*$  ( $r = 0,56$  и  $r = 0,38$  соответственно,  $p < 0,05$ ),  $\alpha$ -каротина и изменениями цветовых координат  $a^*$  ( $r = 0,76$ ,  $p < 0,05$ ). Отрицательные тесные корреляционные зависимости выявлены между содержанием *цис- $\beta$ -каротина* и изменениями светлоты / цветовых координат  $a^*$  и  $b^*$  ( $r = -0,44$ ,  $r = -0,72$  и  $r = 0,60$  соответственно,  $p < 0,05$ ).

Значимые связи отсутствовали между содержанием виолоксантина и изменениями светлоты,  $\alpha$ -каротина и изменениями светлоты / цветовых координат  $b^*$ ,  $\text{транс-}\beta$ -каротина и изменениями цветовых координат  $b^*$ . Следует отметить отсутствие существенных корреляционных зависимостей между содержанием лютеина и исследуемых показателей цвета.

Анализ литературы показал, что стабильность каротиноидов различается в разных продуктах питания, несмотря на одинаковые условия обработки и хранения [55, 56]. Основными причинами потери каротиноидов во время переработки сырья и хранения продуктов питания являются процессы ферментативного и неферментативного окисления.

Наличие в составе растительного сырья окислительных ферментов может привести к существенной потере каротиноидов, однако использование в большинстве технологий высокотемпературной стабилизации (пастеризация, стерилизация) влечет за собой их инактивацию. Окисление каротиноидов, катализируемое ферментами, происходит до тепловой обработки, во время очистки, нарезки и варки. Оно также может происходить в минимально обработанных и не-бланшированных замороженных продуктах во время размораживания [57, 58].

Рассматривая механизмы неферментативного окисления каротиноидов необходимо отметить, что  $\text{цис-транс}$ -изомеризация, стимулируется не только температурой и светом, но и наличием в среде кислот, содержание которых возрастает при механической травматизации клеток сырья. В данном эксперименте показано, что высокая температура бланширования при получении тыквенного пюре приводит к интенсивной изомеризации  $\beta$ -каротина (табл. 5). В работе A. Schieber и R. Carle представлены последствия появления  $\text{цис-}$ изомеров каротиноидов в пище: технологические – необходимость в разработке новых технологий, препятствующих изомеризации каротиноидов; аналитические – развитие методов контроля содержания  $\text{цис-}$ изомеров и степени изомеризации каротиноидов; пищевые – вопросы безопасности, биодоступности, антиоксидантных свойств [59].  $\text{Цис-транс}$ -изомери-

зация каротиноидов обуславливает потерю цвета пищевых систем и способности гасить синглетный кислород [60], а также является причиной изменений биодоступности и метаболизма каротиноидов. Не зависимо от протекающей  $\text{цис-транс}$ -изомеризации (рис. 1) каротиноиды (например, лютеин,  $\text{транс-}\beta$ -каротин,  $\alpha$ -каротин) в пищевых матрицах / системах подвергаются реакциям автоокисления, которые первоначально включают в себя образование эпоксидов, расщепляющихся до апокаротиналей с последующим гидроксильрованием [57]. Дальнейшая фрагментация гидроксикаротиноидов приводит к образованию ряда низкомолекулярных летучих соединений (в основном альдегидов, кетонов, спиртов, различных углеводородов, производных фурана и пирана) [61–63]. Стоит отметить, что новообразованные летучие соединения напрямую участвуют в образовании вкусоароматического профиля пищевого продукта, поскольку зачастую обладают низкими порогами сенсорной чувствительности. В общем виде пути деградации каротиноидов в составе пищевых систем можно представить в виде схемы (рис. 6).

Представленный механизм отражает взаимосвязь между химическими и физическими процессами, протекающими на разных технологических этапах переработки каротиноидсодержащего сырья и влияющими на трансформацию каротиноидов в пищевых системах.

### Выводы

Сорт тыквы, используемый при изготовлении пюре, оказывал основное влияние на показатели цвета (светлоту, цветовую координату  $b^*$ , индекс потемнения), содержание лютеина и  $\text{транс-}\beta$ -каротина (сила влияния от 69,1 до 93,1 %,  $p < 0,01$ ), технология – на показатели цветовой координаты  $a^*$ , цветовое различие, насыщенность и угол оттенка тона, содержание виолоксантина,  $\alpha$ -каротина и  $\text{цис-}\beta$ -каротина (сила влияния от 72,4 до 98,6 %,  $p < 0,01$ ).

Выявлены значимые прямые тесные корреляционные зависимости между содержанием  $\text{транс-}\beta$ -каротина в пюре из тыквы и изменениями светлоты / цветовых координат  $a^*$ , виолоксантина и изменениями

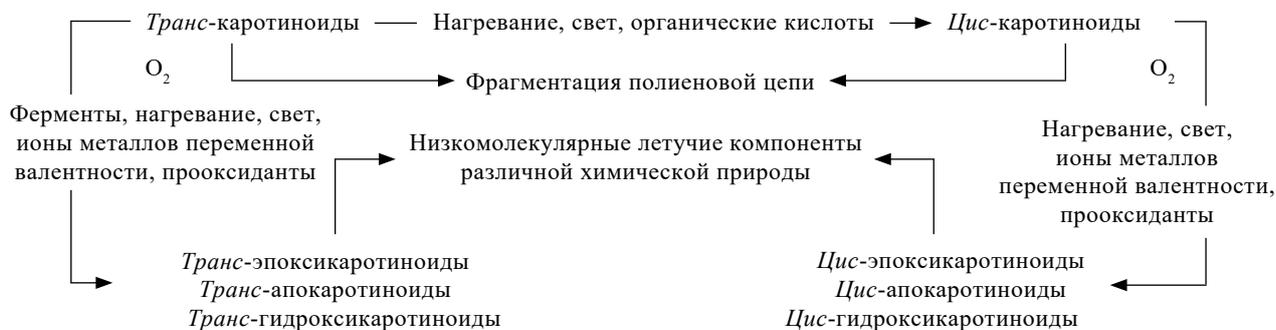


Рисунок 6. Общий механизм неферментативного и ферментативного окисления каротиноидов в составе пищевых систем

Figure 6. General mechanism of non-enzymatic and enzymatic oxidation of carotenoids in food systems

цветовых координат  $a^*$  и  $b^*$ ,  $\alpha$ -каротина и изменениями цветовых координат  $a^*$ , а также обратные тесные корреляционные зависимости между содержанием *цис*- $\beta$ -каротина и изменениями светлоты / цветовых координат  $a^*$  /  $b^*$ .

Образцы сухого пюре, полученные путем ферментализации (препаратами Амилоризин и Протозим), по сравнению с традиционным способом, характеризовались лучшими значениями показателей светлоты (в 1,05 раза), меньшими изменениями цветовых координат  $a^*$  и  $b^*$  (в 1,41 и 1,02 раза соответственно), насыщенности цвета (в 1,13 раза), большим содержанием виолоксантина (в 2,16 раза), лютеина (в 1,16 раза),  $\alpha$ -каротина (в 1,14 раза) и *транс*- $\beta$ -каротина (в 1,18 раз), но меньшим – *цис*- $\beta$ -каротина (в 2,07 раза). Наилучшими сортами тыквы для изготовления пюре по оптическим характеристикам являлись Россиянка, Улыбка и Кустовая оранжевая, а по содержанию индивидуальных каротиноидов – Улыбка, Грибовская зимняя, Россиянка, Зимняя сладкая и Алтайская 47.

Сухое ферментализованное пюре из тыквы, изготавливаемое по предложенной технологии, можно рассматривать как источник каротиноидов при составлении рецептур пищевых продуктов, в том числе

функционального и специализированного назначения. Представленные в работе результаты будут полезны предприятиям, занимающимся переработкой тыквы, поскольку позволят организовать производство тыквенного пюре высокого качества со стабильными оптическими характеристиками.

#### Критерии авторства

Авторы внесли равный вклад в проведение исследования.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for the information published in this article.

#### Conflict of interest

The authors declared no potential conflict of interest regarding the research, authorship, and / or publication of this article.

### Список литературы / References

1. Санникова Т. А., Мачулкина В. А., Гулин А. В., Антипенко Н. И. Безопасный продукт из тыквы – важный залог здорового питания. Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 162–170. [Sannikova TA, Machulkina VA, Gulín AV, Antipenko NI. Safe pumpkin product is an important healthy plant. Storage and Processing of Farm Products. 2020; (3):162–170. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.312>
2. Dhiman AK, Vidiya N, Surekha A, Preethi R. Studies on development and storage stability of dehydrated pumpkin based instant soup mix. Journal of Applied and Natural Science. 2017;9(3):1815–1820. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i3.1444>
3. Типсина Н. Н., Селезнева Г. К. Использование пюре из тыквы в пищевой промышленности. Вестник КрасГАУ. 2013. № 12. С. 242–247. [Tipsina NN, Selezneva GK. The use of pumpkin puree in food industry. Bulletin of KSAU. 2013; 12:242–247. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/RRUZZP>
4. Sathiya Mala K, Aathira P, Anjali EK, Srinivasulu K, Sulochanamma G. Effect of pumpkin powder incorporation on the physico-chemical, sensory and nutritional characteristics of wheat flour muffins. International Food Research Journal. 2018;25(3):1081–1087. <https://elibrary.ru/YHWWJJ>
5. Табаторович А. Н., Степанова Е. Н. Разработка и оценка качества тыквенного мармелада, обогащенного аскорбиновой кислотой. Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4. С. 57А–64. [Tabatorovich AN, Stepanova EN. Development and quality evaluation of pumpkin marmalade enriched with ascorbic acid. Food Processing: Techniques and Technology. 2012;(4):57A–64. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PILQFT>
6. Rico X, Gullón B, Alonso JL, Yáñez R. Recovery of high value-added compounds from pineapple, melon, watermelon and pumpkin processing by-products: An overview. Food Research International. 2020;132:109086. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109086>
7. Rolnik A, Olas B. Vegetables from the *Cucurbitaceae* family and their products: Positive effect on human health. Nutrition. 2020;78:110788. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110788>
8. Bulut S, Popović S, Hromiš N, Šuput D, Lazić V, et al. Antibacterial activity of biopolymer composite materials obtained from pumpkin oil cake and winter savory or basil essential oil against various pathogenic bacteria. Journal of Food and Nutrition Research. 2020;59(3):250–258.
9. Pereira AM, Krumreich FD, Ramos AH, Krolow ACR, Santos RB, et al. Physicochemical characterization, carotenoid content and protein digestibility of pumpkin access flours for food application. Food Science and Technology. 2020;40 (Suppl. 2):691–698. <https://doi.org/10.1590/fst.38819>
10. Karrar E, Sheth S, Navicha WB, Wei W, Hassanin H, et al. A potential new source: Nutritional and antioxidant properties of edible oils from cucurbit seeds and their impact on human health. Journal of Food Biochemistry. 2018;43(2):e12733. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12733>

11. Hussain A, Kausar T, Din A, Murtaza MA, Jamil MA, et al. Determination of total phenolic, flavonoid, carotenoid, and mineral contents in peel, flesh, and seeds of pumpkin (*Cucurbita maxima*). Journal of Food Processing and Preservation. 2021;45(6):e15542. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15542>
12. Нилова Л. П., Потороко И. Ю. Каротиноиды в растительных пищевых системах. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9. № 4. С. 54–69. [Nilova LP, Potoroko IYu. Carotenoids in plant food systems. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2021;9(4):54–69. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WGNNUH>
13. Фокина А. Д., Веснина А. Д., Фролова А. С., Чекушкина Д. Ю., Проскурякова Л. А. и др. Биоактивные вещества геропротекторной направленности. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 2. С. 423–435. [Fokina AD, Vesnina AD, Frolova AS, Chekushkina DYU, Proskuryakova LA, et al. Bioactive antiaging substances: Geroprotectors. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(2):423–435. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2517>
14. Дадали В. А., Тутельян В. А., Дадали Ю. В., Кравченко Л. В. Каротиноиды. Биологическая активность. Вопросы питания. 2011. Т. 80. № 4. С. 4–18. [Dadali VA, Tutelyan VA, Dadali YuV, Kravchenko LV. Carotenoids. Biological activities. Problems of Nutrition. 2011;80(4):4–18. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/OJANDF>
15. Meléndez-Martínez AJ, Mandić AI, Bantis F, Böhm V, Borge GIA, et al. A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: *Status quo*, applications, patents, and research needs. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021;62(8):1999–2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
16. Ninčević Grassino A, Rimac Brnčić S, Badanjak Sabolović M, Šic Žlabur J, Marović R, et al. Carotenoid content and profiles of pumpkin products and by-products. Molecules. 2023;28(2):858. <https://doi.org/10.3390/molecules28020858>
17. Öztürk T, Turhan S. Physicochemical properties of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed kernel flour and its utilization in beef meatballs as a fat replacer and functional ingredient. Journal of Food Processing and Preservation. 2020;44(9):e14695. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14695>
18. Ferrer-González BM, García-Martínez I, Totosaus A. Textural properties, sensory acceptance and fatty acid profile of cooked meat batters employing pumpkin seed paste or soybean oil oleogel as fat replacers. Grasas y Aceites. 2019;70(3):e320. <https://doi.org/10.3989/gya.1055182>
19. Aziz A, Noreen S, Khalid W, Ejaz A, Faiz ul Rasool I, et al. Pumpkin and pumpkin byproducts: Phytochemical constitutes, food application and health benefits. ACS omega. 2023;8(26):23346–23357. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02176>
20. Aljahani A, Cheikhousman R. Nutritional and sensory evaluation of pumpkin-based (*Cucurbita maxima*) functional juice. Nutrition & Food Science. 2017;47(3):346–356. <https://doi.org/10.1108/NFS-07-2016-0109>
21. Adubofuor J, Amoah I, Agyekum PB. Physicochemical properties of pumpkin fruit pulp and sensory evaluation of pumpkin-pineapple juice blends. American Journal of Food Science and Technology. 2016;4(4):89–96.
22. Buzigi E, Pillay K, Siwela M. Potential of pumpkin to combat vitamin A deficiency during complementary feeding in low and middle income countries: Variety, provitamin A carotenoid content and retention, and dietary reference intakes. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022;62(22):6103–6112. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1896472>
23. Hosen M, Rafii MY, Mazlan N, Jusoh M, Oladosu Y, et al. Pumpkin (*Cucurbita* spp.): A crop to mitigate food and nutritional challenges. Horticulturae. 2021;7(10):352. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100352>
24. Srivastava N, Sahu P, Banerjee M. Nutraceutical potential of pumpkin (*Cucurbita* sp.) powder, seed, extracts, and oil on diabetes; Mini Review. Journal of Endocrinology and Disorders. 2021;5(1):1–3. <https://doi.org/10.31579/2640-1045/063>
25. Milovanovic B, Djekic I, Miocinovic J, Djordjevic V, Lorenzo JM, et al. What is the color of milk and dairy products and how is it measured? Foods. 2020;9(11):1629. <https://doi.org/10.3390/foods9111629>
26. Grujić S, Grujić M. Factors affecting consumer preference for healthy diet and functional foods. Foods and Raw Materials. 2023;11(2):259–271. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-576>
27. Gryniewicz G. Phytochemicals between nutrition and medicine. Acta Scientific Nutritional Health. 2020;4(1):24–29.
28. Shahidi F. Nutraceuticals and functional foods: Whole versus processed foods. Trends in Food Science and Technology. 2009;20(9):376–387. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.004>
29. Kolašinac SM, Dajić Stevanović ZP, Kilibarda SN, Kostić AŽ. Carotenoids: New Applications of “Old” Pigments. Phytion-International Journal of Experimental Botany. 2021;90(4):1041–1062. <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.015996>
30. Maia LF, de Oliveira VE, Edwards HGM, de Oliveira LFC. The diversity of linear conjugated polyenes and colours innature: Raman spectroscopy as a diagnostic tool. ChemPhysChem. 2021;22(3):231–249. <https://doi.org/10.1002/cphc.202000818>
31. Gao Y, Focsan AL, Kispert LD. Antioxidant activity in supramolecular carotenoid complexes favored by nonpolar environment and disfavored by hydrogen bonding. Antioxidants. 2020;9(7):625. <https://doi.org/10.3390/antiox9070625>
32. Ouyang M, Huang Y, Wang Y, Luo F, Liao L. Stability of carotenoids and carotenoid esters in pumpkin (*Cucurbita maxima*) slices during hot air drying. Food Chemistry. 2022;367:130710. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130710>
33. Lessin WJ, Catigani GL, Schwartz SJ. Quantification of *cis-trans* isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1997;45(10):3728–3732. <https://doi.org/10.1021/jf960803z>

34. Zepka LQ, Mercadante AZ. Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice. *Food Chemistry*. 2009;117(1):28–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.071>
35. Rickman JC, Bruhn CM, Barrett DM. Nutritional comparison of fresh, frozen, and canned fruits and vegetables II. Vitamin A and carotenoids, vitamin E, minerals and fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007;87(7):1185–1196. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2824>
36. Mordi RC, Ademosun OT, Ajanaku CO, Olanrewaju IO, Walton JC. Free radical mediated oxidative degradation of carotenes and xanthophylls. *Molecules*. 2020;25(5):1038. <https://doi.org/10.3390/molecules25051038>
37. Kultys E, Kurek MA. Green extraction of carotenoids from fruit and vegetable byproducts: A review. *Molecules*. 2022;27(2):518. <https://doi.org/10.3390/molecules27020518>
38. Al-Yafeai A, Malarski A, Böhm V. Characterization of carotenoids and vitamin E in *R. rugosa* and *R. canina*: Comparative analysis. *Food chemistry*. 2018;242:435–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.070>
39. Britton G. Chapter one – Getting to know carotenoids. *Methods in Enzymology*. 2022;670:1–56. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2022.04.005>
40. Chutia H, Mahanta CL. Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2021;67:102547. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102547>
41. Pataro G, Carullo D, Falcone M, Ferrari G. Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020;63:102369. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102369>
42. Rocha HR, Coelho MC, Gomes AM, Pintado ME. Carotenoids diet: Digestion, gut microbiota modulation, and inflammatory diseases. *Nutrients*. 2023;15(10):2265. <https://doi.org/10.3390/nu15102265>
43. Que F, Mao L, Fang X, Wu T. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology*. 2008;43(7):1195–1201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x>
44. Onwude DI, Hashim N, Janius R, Nawi NM, Ebdan K. Color change kinetics and total carotenoid content of pumpkin as affected by drying temperature. *Italian Journal of Food Science*. 2016;29(1). <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v398>
45. Pathare PB, Opara UL, Al-Said FAJ. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2013;6:36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
46. Nourzad S, Naghdi Badi H, Kalateh Jari S, Mehrafarin A, Saecidi-Sar S. Investigation of the qualitative and appearance characteristics of *Eryngium caeruleum* L. based on colorimetric and browning indices in storage conditions. *Food Science & Nutrition*. 2024;12(9):6690–6698. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4243>
47. Karadeniz F, Işık B, Kaya S, Aslanali O, Midilli F. Kinetics of nonenzymatic browning reactions in pumpkin puree during storage. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*. 2024;11(1):101–111. <https://doi.org/10.54287/gujsa.1400745>
48. Chikpah SK, Korese JK, Sturm B, Hensel O. Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022;10:100409. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100409>
49. Kormin F, Sakinah RA, Iwansyah AC, Hesani A. The effect of enzyme concentration on physical characteristics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) puree and its dried extract. *IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci*. 2021;736:012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/736/1/012031>
50. Piepiórka-Stepuk J, Wojtasik-Kalinowska I, Sterczyńska M, Mierzejewska S, Stachnik M, *et al*. The effect of heat treatment on bioactive compounds and color of selected pumpkin cultivars. *LWT*. 2023;175:114469. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114469>
51. Yahia EM, de Jesús Ornelas-Paz J, Emanuelli T, Jacob-Lopes E, Zepka LQ, *et al*. Chemistry, stability, and biological actions of carotenoids. In: Yahia EM, editor. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2nd Edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2017. pp. 285–346. <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch15>
52. Darijani M, Shahraki M, Habibi-Khorassani SM. Theoretical study on the mechanism and kinetics of the formation  $\beta$ -carotene epoxides from the oxidative degradation of  $\beta$ -carotene. *Food Chemistry*. 2022;389:133082. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133082>
53. Szabo K, Teleky BE, Ranga F, Roman I, Khaoula H, *et al*. Carotenoid recovery from tomato processing by-products through green chemistry. *Molecules*. 2022;27(12):3771. <https://doi.org/10.3390/molecules27123771>
54. Sun T, Tadmor Y, Li L. Pathways for carotenoid biosynthesis, degradation, and storage. *Plant and food carotenoids: methods and protocols*. 2020;2083:3–23. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1_1)
55. Zhang R, Chen G, Yang B, Wu Y, Du M, *et al*. Insights into the stability of carotenoids and capsaicinoids in water-based or oil-based chili systems at different processing treatments. *Food Chemistry*. 2021;342:128308. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128308>

56. Meléndez-Martínez AJ, Mandić AI, Bantis F, Böhm V, Borge GIA, et al. A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: *Status quo*, applications, patents, and research needs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;62(8):1999–2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
57. Meléndez-Martínez AJ, Esquivel P, Rodríguez-Amaya DB. Comprehensive review on carotenoid composition: Transformations during processing and storage of foods. *Food Research International*. 2023;169:112773. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112773>
58. Jurić S, Jurić M, Król-Kilińska Ż, Vlahoviček-Kahlina K, Vinceković M, et al. Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. *Food Reviews International*. 2020;38(8):1735–1790. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>
59. Schieber A, Carle R. Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. *Trends in Food Science & Technology*. 2005;16(9):416–422. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.018>
60. Fusi F, Romano G, Speranza G, Agati G. Photon- and singlet-oxygen-induced *cis–trans* isomerization of the water-soluble carotenoid crocin. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(13):10783. <https://doi.org/10.3390/ijms241310783>
61. da Silva Souza MA, Peres LEP, Freschi JR, Purgatto E, Lajolo FM, et al. Changes in flavonoid and carotenoid profiles alter volatile organic compounds in purple and orange cherry tomatoes obtained by allele introgression. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020;100(4):1662–1670. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10180>
62. Shi J, Wu W, Zhang Y, Baldermann S, Peng Q, et al. Comprehensive analysis of carotenoids constituents in purple-coloured leaves and carotenoid-derived aroma differences after processing into green, black, and white tea. *LWT*. 2023;173:114286. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114286>
63. Dhenge R, Rinaldi M, Ganino T, Santi S, Ferrarese I, et al. Variations of polyphenols, sugars, carotenoids, and volatile constituents in pumpkin (*Cucurbita moschata*) during high pressure processing: A kinetic study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2022;78:103005. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103005>