

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ АНАЛИЗА**

© И. Р. Фаздалова*, Ю. Ю. Гайнуллина

*Уфимский университет науки и технологий
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.**Email: ilnara-fazdalova@mail.ru

В данной работе установлено, что наибольшее число каротиноидных соединений содержат гексановые и ацетоновые извлечения. Методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) обнаружено, что более широкий спектр каротиноидов имеет гексановое извлечение в хроматографической системе диэтиловый эфир – петролейный эфир (3:1). Определено, что смесь растворителей петролейный эфир – гексан (10:1) не разделяет компоненты. Обнаружено, что сорт «Кустовая Оранжевая» вида твердокорые содержит большее количество каротиноидов. Лютеин и β -каротин содержат все исследуемые сорта как в мякоти, так и в кожуре. Только у сорта «Конфетка» β -каротин содержится в кожуре, однако лютеин содержится и в мякоти, и в кожуре. При этом в мякоти – доминирует (0,5–0,6 мг/л). Наибольшее содержание лютеина и β -каротина из всех представленных сортов содержит сорт «Крошка». При этом в кожуре содержание последнего выше, чем в мякоти (0,6–0,75 мг/л). В сорте «Матильда» вида мускатные состав каротинов и ксантофиллов распределен практически равномерно в мякоти и кожуре. Обнаружено, что ксантофиллы содержатся во всех исследуемых сортах. Наибольшее их количество в мякоти содержит сорт «Кустовая Оранжевая» вида твердокорые, а в кожуре – «Атланта» и «Конфетка» вида крупноплодные. Установлено, что процесс заморозки незначительно влияет на каротиноидный состав сырья.

Ключевые слова: каротин, ксантофил, ТСХ, фактор удерживания.

Введение

Каротиноиды являются широко распространенными пигментами, синтезируемые организмами, способными к осуществлению окислительного фотосинтеза. Помимо высших растений, каротиноиды входят в состав водорослей, грибов, бактерий, коралловых полипов и ракообразных. Как правило, структурный скелет каротиноидов состоит из С-40-углеводородного остова с сопряженными двойными связями и имеют одно или оба ароматических кольца на конце цепи. Однако есть и такие, которые не имеют циклических группировок на конце цепи. Кроме того, к каротиноидам также относятся стафилоксантин, имеющий углеродный скелет из 30 атомов углерода, перидинин – 37 атомов углерода, фукоксантин – 42 атома углерода, миксоксантофилл – 46 атомов углерода, декапrenoксантин – 50 атомов углерода, сифонеин – 52 атома углерода [1].

По строению каротиноидов различают каротины и ксантофиллы, способные взаимно превращаться друг в друга. Структуру первых представляют тетратерпены – соединения, которые имеют в составе восемь изопреновых звеньев и двойную связь на концевых фрагментах. Каротины являются красными и оранжевыми пигментами, не обладающими запахом. Их представителями являются β -каротин, α -каротин и прочие изомеры, ликопин и другие, из которых наиболее распространенным в природе является β -каротин. Каротины являются неустойчивыми соединениями, которые окисляются на воздухе, легко разлагаются при нагревании, под действием света, кислот, щелочей [2–6].

Характерной особенностью ксантофиллов является наличие полярных кислородсодержащих групп, представляющих собой гидроксильные и эпоксидные производные. Они являются желтыми и розовыми пигментами. В природе наиболее распространены лютеин, зеаксантин, виолоксантин. Ксантофиллы входят в состав не только растений, но и животных: лютеин обуславливает окраску желтка в яйцах птиц, ракообразных, а также некоторых птиц, в рацион которых входит пища, содержащая ксантофиллы. По сравнению с каротинами ксантофиллы более устойчивы к воздействию света, не окисляются на воздухе [7].

Каротиноиды, как и флавоноиды, используются в медицине и фармакологии благодаря высокой биологической активности. Наличие сопряженных двойных связей в структуре наделяет их антиоксидантными свойствами и делает их ингибиторами онкологических заболеваний. Сопряженные двойные связи чувствительны к свободным электронам, появляющимся при цепных реакциях, которые образуют опухоли, и способны устранять свободные радикалы. Кроме того, каротиноиды взаимодействуют с активными формами кислорода, образующимися в организме в ходе цепных реакций, и ингибируют ферменты, участвующие в их генерации.

Окислительное расщепление каротиноидов приводит к разрыву углеродной цепи и образованию апрокаротиноидов. При этом апрокаротиноиды обладают большей биологической активностью по сравнению с каротиноидами. Так, они имеют антиоксидантное, кардиопротекторное, противоопухолевое, иммуномодулирующее, противовоспалительное, противовирусное, нейропротекторное действие [8]. Кроме того, каротиноиды чувствительны к ультрафиолетовому и видимому излучению и защищают от него организм человека, животных, растений и грибы.

Каротиноиды при попадании в организм способны превращаться в витамин А, таким образом, являясь его провитамином. Наибольший витаминный эффект имеет β -каротин. В организме из 6 мкг β -каротина образуется 1 мкг витамина А [9]. Процесс попадания каротиноидов в желудочно-кишечный тракт и их дальнейшая транспортировка по нему лимфатической системой схожи с процессом попадания и транспортировкой липидов. При этом на их биодоступность влияет холестерин: чем он выше в пище, тем лучше усваиваются каротиноиды. Доза употребляемых продуктов, содержащих каротины и ксантофиллы, также оказывает влияние на их усвоение: меньшая доза каротиноидов поглощается и переносится эффективнее больших количеств [10–13].

Антиоксидантный эффект лютеина в организме человека проявляется следующим образом. Сетчатка обладает высокой чувствительностью к окислительным реакциям и воздействующим на нее солнечным лучам и искусственным источникам света, в ней скапливается синглетный кислород [14–15]. Благодаря электрофильности, он реагирует с соединениями с сопряженными двойными связями, в результате чего появляется активный радикал, способствующий образованию опухоли. Лютеин – макулярный пигмент: он скапливается в сетчатке и макуле – тканях глаза [16]. Благодаря наличию кратных связей лютеин взаимодействует активным кислородом сразу после его появления [17]. Таким образом, число свободных радикалов уменьшается, что оберегает сетчатку глаза от окислительного повреждения и старения.

Объекты и методы исследования.

В качестве объектов исследования были использованы плоды трех известных видов тыкв семи различных отечественных сортов, выращенные в садах Республики Башкортостан. Тыквы вида крупноплодные (*Cucurbita maxima*) – сортов Крошка, Улыбка, Россиянка, Атланта, Конфетка; вида мускатные (*Cucurbita moschata*) – сорта Матильда; вида твердокорые (*Cucurbita pepo*) – сорта Кустовая Оранжевая. Для анализа использовали образцы тыкв до и после заморозки в морозильной камере. Исследовали следующие части по отдельности: кожуру и мякоть тыкв.

Методика проведения анализа методом ТСХ. В качестве сорбента были использованы пластины «Sorbfil» с алюминиевой подложкой, на которую нанесен силикагель СТХ-1А. На линию старта (1,0–1,5 см от начала пластины) наносили при помощи капилляров образец гексанового, хлороформного или ацетонового извлечения, стандартный образец (СО) β -каротина, СО лютеина на расстоянии 1,0 см от края пластины и 1,5 см друг от друга. Пластины сушили в течение 5 мин при комнатной температуре, а затем помещали в хроматографические камеры.

В качестве элюентов были использованы 4 системы растворителей:

- 1) диэтиловый эфир – петролейный эфир (3:1);
- 2) диэтиловый эфир – петролейный эфир – уксусная кислота (15:85:1);
- 3) петролейный эфир – гексан (10:1);
- 4) ацетон – гексан (1:10).

По истечении 20 мин (время, при котором элюент перестает подниматься) пластины доставали из камеры, сушили при комнатной температуре в темном месте без попадания света. Затем визуально регистрировали наличие пятен и высчитывали R_f .

Методика проведения спектрофотометрического анализа. После процедуры экстракции отбирали в мерные колбы на 25 мл по 1,0 мл гексанового, хлороформного или ацетонового извлечений и доводили до метки гексаном, хлороформом или ацетоном соответственно. По литературным данным установлено, что спектры поглощения каротиноидов характеризуются тремя максимумами или двумя максимумами и плечом в интервале длин волн от 270 до 550 нм, где наибольшая интенсивность приходится в интервале 400–500 нм. Поэтому исследование спектральных характеристик извлеченных растворов каротиноидов в тыквах проводили на фотометре КФК-3-«ЗОМЗ» в диапазоне от 315 до 600 нм в кюветах с толщиной рабочего слоя 10 мм. В качестве растворов сравнения использовали гексан, хлороформ и ацетон соответственно. Перед началом проведения спектрометрического анализа исследуемого сырья были сняты спектры для всех стандартных образцов каротиноидов. Полученные значения коррелируют с литературными данными.

Результаты и обсуждения

Результаты ТСХ-анализа представлены в *табл.* 1–2.

Результаты спектрофотометрического анализа. В *табл.* 3–4 представлено содержание в исследуемых образцах тыкв β -каротина и лютеина соответственно до заморозки и после. На *рис.* 1–2 изображены гистограммы распределения β -каротина, на *рис.* 3–4 – гистограммы распределения лютеина в образцах тыкв до заморозки и после.

Таблица 1

Факторы удерживания (Rf) идентифицируемых каротинов в образцах тыкв, извлеченных в гексане. Система растворителей диэтиловый эфир – петролейный эфир (3:1)

Сорт тыквы	Факторы удерживания идентифицируемых каротинов					
	β-каротин		α-каротин		ликопин	
	мякоть	кожура	мякоть	кожура	мякоть	кожура
Крошка	0,857	0,935	0,800	0,869	-	-
Улыбка	0,912	0,816	0,789	0,612	-	-
Россиянка	0,889	0,923	-	-	-	-
Атланта	0,758	0,882	-	-	0,606	0,735
Конфетка	-	0,737	-	-	-	-
Матильда	0,929	0,825	0,900	-	0,714	0,725
Кустовая Оранжевая	0,933	0,929	-	-	0,800	0,857

Таблица 2

Факторы удерживания (Rf) идентифицируемых ксантофиллов в образцах тыкв, извлеченных в гексане. Система растворителей диэтиловый эфир – петролейный эфир (3:1)

Сорт тыквы	Факторы удерживания идентифицируемых ксантофиллов					
	лютеин		зеаксантин		неоксантин	
	мякоть	кожура	мякоть	кожура	мякоть	кожура
Крошка	0,429	0,500	-	-	0,286	0,304
Улыбка	0,439	0,408	-	-	-	-
Россиянка	0,444	0,481	0,667	0,288	-	-
Атланта	0,333	0,382	-	0,294	-	-
Конфетка	0,370	0,316	-	0,526	-	-
Матильда	0,414	0,550	-	-	-	-
Кустовая Оранжевая	0,400	0,400	0,600	-	0,200	0,214

Таблица 3

Содержание β-каротина в тыквах отечественных сортов (m, мг)

Сорт тыквы	Незамороженные тыквы		Тыквы после охлаждения	
	мякоть	кожура	мякоть	кожура
Крошка	0,17	0,676	0,166	0,658
Улыбка	0,172	0,37	0,129	0,249
Россиянка	0,397	0,1957	0,352	0,1904
Атланта	0,236	0,322	0,232	0,296
Конфетка	-	0,216	-	0,1577
Матильда	0,30901	0,36473	0,28183	0,32183
Кустовая Оранжевая	0,407	0,427	0,369	0,369

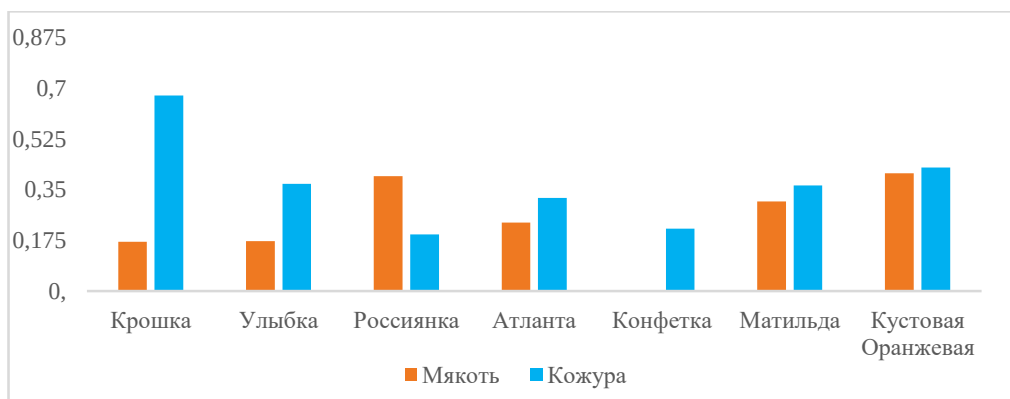
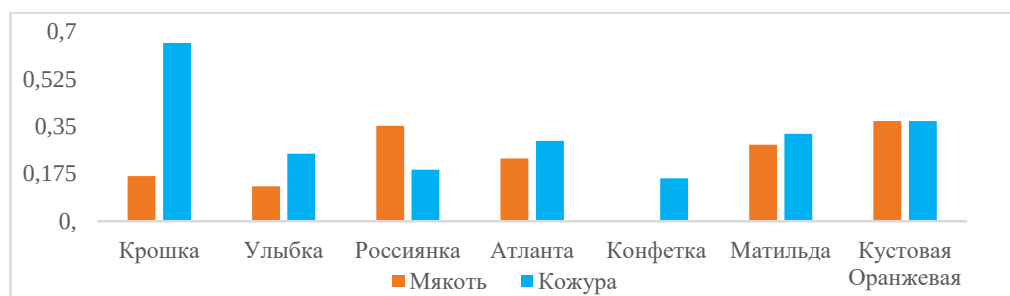
Рис. 1. Распределение β -каротина в мякоти и кожуре тыкв, мг/л.Рис. 2. Распределение β -каротина в мякоти и кожуре тыкв после заморозки, мг/л.

Таблица 4

Содержание лютеина в тыквах отечественных сортов (м, мг)

Сорт тыквы	Незамороженные тыквы		Тыквы после охлаждения	
	Мякоть	Кожура	Мякоть	Кожура
Крошка	0,19	0,737	0,186	0,724
Улыбка	0,194	0,356	0,164	0,328
Россиянка	0,394	0,213	0,351	0,206
Атланта	0,266	0,334	0,259	0,294
Конфетка	0,5	0,247	0,464	0,223
Матильда	0,2811	0,304	0,263	0,299
Кустовая Оранжевая	0,333	0,355	0,296	0,29

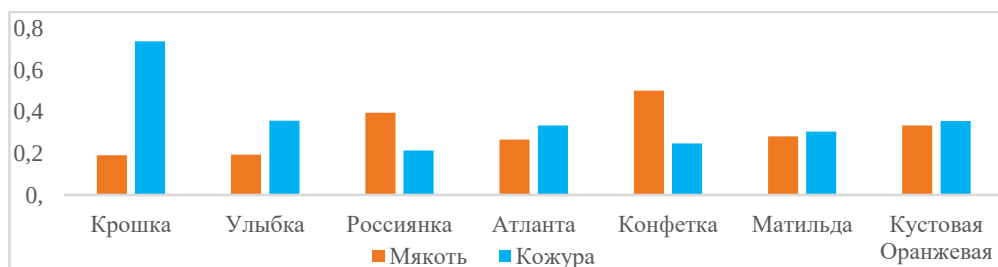


Рис. 3. Распределение лютеина в мякоти и кожуре тыкв, мг/л.

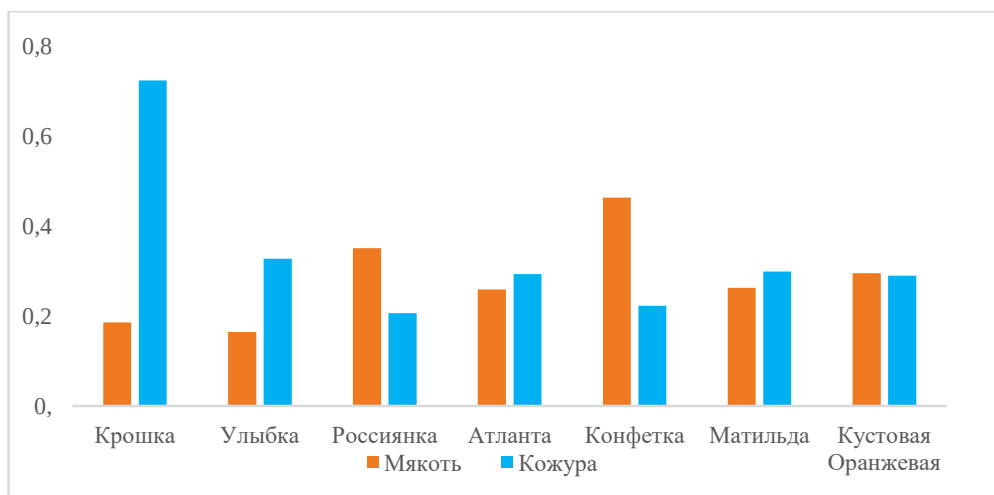


Рис. 4. Распределение лютеина в мякоти и коже тыкв после заморозки, мг/л.

Заключение

Установлено, что наибольшее число каротиноидных соединений содержат гексановые и ацетоновые извлечения. По результатам ТСХ-анализа было обнаружено, что более широкий спектр каротиноидов имеет гексановое извлечение в хроматографической системе I (диэтиловый эфир – петролейный эфир (3:1)). Показано, что смесь растворителей III (петролейный эфир – гексан (10:1)) не позволила разделить компоненты всех трех извлечений, поскольку нанесенные извлечения в виде зон адсорбции находились на линии старта.

Наибольшим суммарным количеством каротиноидов обладает сорт «Кустовая Оранжевая», вид твердокорые. Лютеин и β -каротин содержат все исследуемые сорта как в мякоти, так и в коже. Только у сорта «Конфетка» β -каротин содержится в коже, однако лютеин содержится и в мякоти, и в коже. При этом в мякоти – доминирует (0,5–0,6 мг/л). У сорта «Крошка» в коже наибольшее содержание лютеина и β -каротина из всех представленных сортов (0,6–0,75 мг/л). В сорте «Матильда» вида мускатные состав каротинов и ксантофиллов распределен практически равномерно.

Ксантофиллы содержатся во всех исследуемых сортах. Наибольшее их количество в мякоти показал сорт «Кустовая Оранжевая», вид твердокорые, а в коже – «Атланта» и «Конфетка» вида крупноплодные. Также твердокорые тыквы содержат наибольшее суммарное количество каротиноидов

Процесс заморозки не оказал влияния на каротиноидный состав сырья.

Таким образом, результаты исследования подтверждают возможность выделения каротиноидов из мякоти и кожуры тыкв.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №25-26-00767).

ЛИТЕРАТУРА

1. Смоликова Г. Н., Медведев С. С. Каротиноиды семян: синтез, разнообразие и функции // Физиология растений. 2015. Т. 62. №1. С. 3. [Smolikova G. N., Medvedev S. S. Seed carotenoids: Synthesis, diversity and functions // Fiziologiya Rastenii. 2015. Vol. 62. No. 1. P. 3]. DOI: 10.7868/S0015330315010133.
2. Дейнека Л. А., Гостищев И. А., Дейнека В. И. и др. Исследование каротиноидного состава мякоти тыкв // Региональные геосистемы. 2011. Т. 15. №9(104). С. 131–136. [Deineka L. A., Gostishchev I. A., Deineka V. I., et al. Study of carotenoid composition of pumpkin pulp // Regional'nye Geosistemy. 2011. Vol. 15. No. 9(104). P. 131–136].
3. Жизнь растений. В 6-ти тт. Т. 5. Ч. 2 / Гл. ред. А. Л. Тахтаджан. М.: Просвещение, 1981. 576 с. [Life of Plants. In six volumes. Vol. 5. Pt. 2 / Ed. in chief A.L. Takhtadzhan. Moscow: Prosveshchenie, 1981. 576 p.].
4. Paris H. S. Historical records, origins, and development of the edible cultivar groups of Cucurbita pepo (Cucurbitaceae) // Economic Botany. 1989. Vol. 43. P. 423–443.
5. Fu C., Shi H., Li Q. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin // Plant Foods for Human Nutrition. 2006. Vol. 61. P. 73–80.
6. Шеина А. О. Каротиноиды. Свойства и роль в организме. В сб.: Актуальные вопросы фармацевтических и естественных наук. Иркутск: Иркутский гос. медицинский университет, 2020. С. 72–75. [Sheina A. O. Carotenoids. Properties and role in the body. In: Current Issues in Pharmaceutical and Natural Sciences. Irkutsk: Irkutsk State Medical University, 2020. P. 72–75].
7. Маслова Т. Г., Марковская Е. Ф., Слемнев Н. Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. №4. С. 297–310. [Maslova T. G., Markovskaya E. F., Slemnev N. N. Functions of carotenoids in the leaves of higher plants (review) // Zhurnal Obshchey Biologii. 2020. Vol. 81. No. 4. P. 297–310].
8. Небесихина Н. А. Сравнительный анализ химического состава и пищевой ценности морских и пресноводных моллюсков азово-черноморского бассейна. В сб.: Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов. Ростов-на/Д: АзНИИРХ, 2015. С. 245–251. [Nebesikhina N.A. Comparative analysis of the chemical composition and nutritional value of marine and freshwater mollusks of the Azov-Black Sea basin. In: Issues of conservation of biodiversity of water bodies. Rostov-on-Don: Azov Research Institute of Fisheries, 2015. P. 245–251].
9. Емельянова Т. П. Витамины и минеральные вещества: полный справочник для врачей. М., 2001. 576 с. [Emelyanova T. P. Vitamins and minerals: complete guide book for doctors. Moscow, 2001. 576 p.].

10. Avalos J., Carmen Limón M. Biological roles of fungal carotenoids // *Current genetics*. 2015. Vol. 61. P. 309–324.
11. Шамитова Е. Н., Серебрякова А. А., Жукова А. А. Витамин А и его роль в организме человека // *Международный студенческий научный вестник*. 2019. №3. С. 15. [Shamitova E. N., Serebryakova A. A., Zhukova A. A. Vitamin A and its role in the human body // *Mezhdunarodnyi Studencheskii Nauchnyi Vestnik*. 2019. No. 3. P. 15].
12. Ambati R., Phang S. M., Ravi S. Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications – A review // *Marine Drugs*. 2014. Vol. 12. No. 1. P. 128–152.
13. O'Sullivan L., Ryan L., O'Brien N. Comparison of the uptake and secretion of carotene and xanthophyll carotenoids by Caco-2 intestinal cells // *British Journal of Nutrition*. 2007. Vol. 98. No. 1. P. 38–44.
14. Guerin M., Huntley M. E., Olaizola M. Haematococcus astaxanthin: Applications for human health and nutrition // *Trends in Biotechnology*. 2003. No. 21. P. 210–216.
15. Yang Y., Kim B., Lee J. Y. Astaxanthin structure, metabolism, and health benefits // *Journal of Human Nutrition and Food Science*. 2013. No. 1. Art. no. 1003.
16. Журавлева Л. В., Бойко Э. В., Чурилова И. В. и др. Динамика показателей про- и антиоксидантного статуса у больных возрастной макулодистрофией при использовании препарата Рексод. В сб.: VI Всерос. школа офтальмолога: сб. науч. тр. М., 2007. С. 275–283. [Zhuravleva L. V., Boyko E. V., Churilova I. V., et al. Dynamics of pro- and antioxidant status indicators in patients with age-related macular degeneration using Rexod. In: VI All-Russian School of Ophthalmology: collection of scientific papers. Moscow, 2007. P. 275–283].
17. Neuringer M., Sandstrom M. M., Johnson E. J., Snodderly D. M. Nutritional manipulation of primate retinas, I: effects of lutein or zeaxanthin supplements on serum and macular pigment in xanthophyll-free rhesus monkeys // *Investigate Ophthalmology and Visual Science*. 2004. Vol. 45. No. 9. P. 3234–3243.

Поступила в редакцию 26.01.2026 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2026.2.4

DETERMINATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF VEGETABLE RAW MATERIALS BY PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS METHODS

© I. R., Fazdalova*, Yu. Yu. Gainullina

*Ufa University of Science and Technology
32 Zaki-Validi st., 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.***Email: ilnara-fazdalova@mail.ru*

In this work, it was found that hexane and acetone extracts contain the highest number of carotenoid compounds. Using thin-layer chromatography (TLC), it was found that hexane extraction in the chromatographic system diethyl ether – petroleum ether (3:1) has a wider range of carotenoids. It was determined that the mixture of solvents petroleum ether – hexane (10:1) does not separate the components. It was found that the Bush Orange variety of the hard-barked species contains a higher amount of carotenoids. Lutein and β -carotene are found in all varieties under study, both in the pulp and in the peel. Only the “Konfetka” variety contains β -carotene in the peel, but lutein is found in both the pulp and the peel. In the pulp, lutein dominates (0.5–0.6 mg/L). The variety “Kroshka” contains the highest amount of lutein and β -carotene among all the varieties studied. In addition, the peel contains more lutein and β -carotene than the pulp (0.6–0.75 mg/L). In the variety “Matilda” of muscat species, the distribution of carotenes and xanthophylls is almost equal in the pulp and peel. It was found that xanthophylls are present in all the varieties studied. The variety “Kustovaya Oranzhevaya” of hard-barked species contains the highest amount of carotenes in the pulp, while the varieties “Atlanta” and “Konfetka” of the large-fruited species contain the highest amount of carotenes in the peel. It has been established that the freezing process has a slight effect on the carotenoid composition of the raw material.

Keywords: *carotene, xanthophyll, TLC, retention factor.*

*Received 26.01.2026.***Об авторах / About the authors****ФАЗДАЛОВА Ильнара Рафгатовна**

Студентка, химический факультет.
Уфимский университет науки и технологий.
Email: ilnara-fazdalova@mail.ru

FAZDALOVA Ilnara Rafgatovna

Student of Chemistry Department.
Ufa University of Science and Technology.
Email: ilnara-fazdalova@mail.ru

ГАЙНУЛЛИНА Юлия Юрьевна

Кандидат химических наук,
доцент кафедры аналитической химии.
Уфимский университет науки и технологий.
Email: umashkova@mail.ru

GAINULLINA Yuliya Yuryevna

Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor
of the Department of Analytical Chemistry.
Ufa University of Science and Technology.
Email: umashkova@mail.ru