

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-49-53>
УДК: 635.347:631.524.82

Е. Алмуграби*, И.В. Галиев,
Р.П. Хакимзянова, А.А. Мостякова,
О.А. Тимофеева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ) 420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, д.18

*Автор для переписки:
esraaalmgrabe@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов при написании данной работы.

Вклад авторов: Алмуграби Е.: изучение литературы, проведение исследований и подготовка материала для статьи. Галиев И.В.: выполнение биохимических анализов. Хакимзянова Р.П.: выполнение биохимических анализов. Мостякова А.А.: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов. Тимофеева О.А.: Формулирование идеи, разработка методологии исследования, написание первоначального текста рукописи. Все авторы принимали участие в написании статьи.

Для цитирования: Алмуграби Е., Галиев И.В., Хакимзянова Р.П., Мостякова А.А., Тимофеева О.А. Вариабельность фенольных соединений у разных сортов капусты кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Овощи России*. 2024;(4):49-53. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-49-53>

Поступила в редакцию: 27.02.2024

Принята к печати: 29.05.2024

Опубликована: 08.07.2024

Esraa Almugrabi*, Insa V. Galiev,
Rimma P. Khakimzyanova,
Antonina A. Mostyakova,
Olga A. Timofeeva

Federal state autonomous educational institution of higher education
"Kazan (Volga Region) federal university"
420008, Russia, Kazan, st. Kremlevskaya, 18

*Corresponding Author:
esraaalmgrabe@gmail.com

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: Almugrabi E.: studying the literature, conducting research and preparing material for the article. Galiev I.V.: performing biochemical tests. Khakimzyanova R.P.: performing biochemical tests. Mostyakova A.A.: conducting the research process, in particular, conducting experiments. Timofeeva O.A.: Formulation of the idea, development of the research methodology, writing the initial text of the manuscript. All authors took part in writing the article.

For citation: Almugrabi E., Galiev I.V., Khakimzyanova R.P., Mostyakova A.A., Timofeeva O.A. Variability of phenolic compounds in different varieties of kale cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Vegetable crops of Russia*. 2024;(4):49-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-4-49-53>

Received: 27.02.2024

Accepted for publication: 29.05.2024

Published: 08.07.2024

Вариабельность фенольных соединений у разных сортов капусты кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*)

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Капуста кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) – листовая овощная культура с зелеными, красными и фиолетовыми листьями, культивируется в Северной и Центральной Европе, а также в Северной Америке. Кейл занимает заслуженно высокое место в списке функциональных продуктов из-за большого содержания биологически активных веществ. Капуста кейл содержит витамины, минералы, антиоксидантные соединения, углеводы, ненасыщенные жирные кислоты, белки и пищевые волокна. Несмотря на высокую привлекательность в качестве функционального продукта питания, в России она в массовых масштабах не возделывается.

Материал и методика. Целью настоящей работы является изучение содержания фенольных соединений в двух сортах капусты кейл для обоснования рекомендаций по ее культивированию в России. В качестве объекта исследования использовали сорт и гибрид капусты кейл – Dwarf Blue Scotch с зелеными листьями и гибрид Redbor F₁ с красными листьями. Изучали содержание растворимых фенольных соединений и флавоноидов, а также качественный состав фенольных соединений в капусте кейл, определение проводили по общепринятым методикам. В качестве проб для анализа использовали выращенные растения в возрасте 16 недель. Опыт проводили в лабораторных условиях в 5-кратной повторности.

Результаты. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о достаточно высоком содержании фенольных соединений и флавоноидов у изученных сортов капусты кейл. Продемонстрировано, что гибрид Redbor F₁ характеризуется более высоким содержанием растворимых фенольных соединений, по сравнению с сортом Dwarf Blue Scotch в среднем на 20%. Сделано заключение, что данный гибрид Redbor F₁ может быть использован для разработки приемов повышения эффективности синтеза вторичных метаболитов, полезных для здоровья человека, и рекомендован фермерам для выращивания на территории РФ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

капуста кейл; сорт, фенольные соединения; флавоноиды; высокоэффективная жидкостная хроматография

Variability of phenolic compounds in different varieties of kale cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*)

ABSTRACT

Relevance. Cabbage Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) is a green, red and purple leafy vegetable cultivated in Northern and Central Europe, as well as North America. Kale deservedly occupies a high place in the list of functional products due to its high content of biologically active substances. Kale contains vitamins, minerals, antioxidant compounds, carbohydrates, unsaturated fatty acids, proteins and dietary fiber. Despite its high attractiveness as a functional food product, it is not cultivated on a massive scale in Russia.

Methodology. The purpose of this work is to study the content of phenolic compounds in two varieties of kale cabbage to substantiate recommendations for its cultivation in Russia. The variety and hybrid of kale cabbage – Dwarf Blue Scotch with green leaves and the hybrid Redbor F₁ with red leaves – were used as the object of the study. The content of soluble phenolic compounds and flavonoids, as well as the qualitative composition of phenolic compounds in kale cabbage, was studied. Determination was carried out according to generally accepted methods. Grown plants at the age of 16 weeks were used as samples for analysis. The experiment was carried out in laboratory conditions in 5 replicates.

Results. The results of the studies indicate a fairly high content of phenolic compounds and flavonoids in the studied varieties of kale cabbage. It has been demonstrated that the Redbor F₁ hybrid is characterized by a higher content of soluble phenolic compounds compared to the Dwarf Blue Scotch variety by an average of ~20%. It was concluded that this Redbor F₁ hybrid can be used to develop methods for increasing the efficiency of the synthesis of secondary metabolites that are beneficial to human health, and is recommended to farmers for cultivation in the Russian Federation.

KEYWORDS:

kale; variety; phenolic compounds; flavonoids; high performance liquid chromatography.

Введение

Диету, включающую в себя высокое содержание овощей, широко рекомендуют благодаря полезным для здоровья свойствам. Овощи употребляют в сыром виде и в термически обработанном. Большинство овощей содержат большое количество питательных и биологически активных соединений, таких как флавоноиды, фенольные кислоты, антоцианы, сахара, эфирные масла, каротиноиды, витамины и минералы [1]. Потребление овощей связано со снижением риска хронических заболеваний и контролем массы тела [2]. Они обеспечивают организм многими ценными веществами и значительно снижают риски заболеваний сердечно-сосудистой системы и диабета, а также связанную с ними смертность [3]. Среди зеленых овощей капуста кейл (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) заслуживает особого внимания.

Родом из восточной Турции, капуста является одним из самых древних листовых зеленых овощей. В первом тысячелетии она попала в Европу, где она прижилась в различных культурах. Только в начале 1980-х годов капуста стала популярной в Америке [4]. Благодаря достаточной устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и недорогой себестоимости производства, капуста стала важной культурой для сельского хозяйства и экономики.

Потребление капусты кейл значительно возросло в последние годы. Ареал выращивания данного растения достаточно невелик: Северная и Центральная Европа, а также в Северной Америке в качестве озимой культуры, что особенно актуально для климата России [5]. Капуста имеет множество разновидностей, в основном различающихся по цветовым оттенкам, размеру и типу листьев. Капуста кейл имеет более высокую питательную ценность по сравнению с другими продуктами. Согласно базе данных Министерства сельского хозяйства США, в 100 г сырой капусты содержится 2,9 г белка, 4,4 г углеводов, 4,1 г клетчатки и всего 1,49 г липидов. Кроме того, в ней содержится больше железа (1,6 мг/100 г), чем в мясе, в 2-3 раза больше кальция (254 мг/100 г), чем в молоке, в 3-4 раза больше фолиевой кислоты (241 мкг/100 г), чем в яйцах, и в два раза больше витамина С (93,4 мг/100 г) чем в апельсинах [4].

Существуют различные коммерческие сорта капусты кейл, имеющие разные цвета и форму листьев и отличающиеся, соответственно по содержанию биологически активных соединений. Капуста с красными и фиолетовыми листьями отличается высоким содержанием каротиноидов и антоцианов, что еще больше повышает ее ценность [6-8]. В частности, продукты питания, богатые антоцианином, становятся все более популярными из-за их привлекательного цвета и предполагаемой пользы для здоровья человека [9].

Несмотря на высокую привлекательность капусты кейл в качестве функционального продукта питания, в России она в массовых масштабах не возделывается.

Целью настоящей работы является изучение содержания растворимых фенольных соединений в разных сортах капусты кейл для обоснования рекомендаций по ее культивированию в России.

Материалы и методы

Объектом исследования были 2 образца капусты кейл – сорт Dwarf Blue Scotch с зелеными листьями и гибрид Redbor F₁ с красными листьями. Опыт проводили в 2023 году в лаборатории физиологии растений Казанского федерального университета, Татарстан, Россия.

Семена проращивали в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге (дата посева – 5 июля 2023 года), в течение 7

суток было получено по 10 проростков капусты сорта Dwarf Blue Scotch и 10 – Redbor F₁. Затем растения выращивали в горшках в лабораторных условиях. Горшки заполняли 500 г сухой супесчаной почвы. Кислотность почвы была нейтральной с pH=6,9. Содержание органического вещества (гумуса) составило 1,96%, азота нитратного – 35,5 мг/кг, азота аммиачного – 11,3 мг/кг, содержания подвижного фосфора – 584 мг/кг, количества обменного кальция – 13,25 ммоль/100 г и обменного магния – 1,5 ммоль/100 г.

В качестве проб для анализа использовали выращенные растения в возрасте 16 недель (дата сбора материала – 6 ноября 2023 года). Этот возраст был выбран, поскольку многие исследователи показывают, что в возрасте 16 недель содержание фенолов высокое в листьях капусты кейл [10-12].

Листья высушивали в сушильном шкафу при 60°C.

Содержание фенольных соединений и флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом [13].

Экстракцию фенольных соединений проводили 90% этанолом (в соотношении 16:1 навеска: этанол) на водяной бане при 60°C в течение 10 мин 3 раза.

После получения экстракта проводили идентификацию фенольных соединений на обращенно-фазовом высокоэффективном жидкостном хроматографе от компании BIO-RAD – BioLogic DuoFlow на колонке C18 SN-421001911, 5µм, 4×250 мм с двухволновым УФ детектором QuadTec UV-Vis. Детекцию пиков проводили при длине волны 280 нм и 360 нм (рекомендованные для фенольных кислот и флавоноидов).

Подвижная фаза состояла из: Раствор А – бидистиллированная вода 98% + ацетонитрил 1% + уксусная кислота 1%, Раствор Б – ацетонитрил 99% + ледяная уксусная кислота 1%.

Последовательность концентрации подвижной фазы хроматографии относительно раствора А 70-65% (5 мин), 65-61% (12 мин), 61-10% (5 мин), 10% изократический режим (5 мин), 10-70% (5 мин), и 70% изократический режим (5 мин). Объем вводимого спиртового экстракта – 100 мкл. Хроматография проводилась при скорости потока элюента равной 0,3 мл/мин при 25±2°C [14].

Идентификация полученных на хроматограмме пиков осуществлялась рабочими стандартами готовых образцов флавоноидов (кемпферол, изорамнетин, кверцетин, рутин) и фенольных кислот (синаповая кислота, бензойная кислота, кофейная кислота, феруловая кислота, кумаровая кислота) с известной концентрацией.

Все эксперименты проводили в 5 повторностях. Достоверность различий рассчитывали по критерию Манна-Уитни при P≤0,05 в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Фенольные кислоты, флавоноиды и глюкозинолаты являются преобладающими в составе вторичных метаболитов растений капусты кейл [4]. Флавоноиды представляют собой большую группу полифенольных соединений с бензо-γ-пироновой структурой и повсеместно присутствуют в растениях. Известно, что фенольные соединения, в особенности флавоноиды, обладают широким спектром фармакологической активности [15-18]. Антиоксидантный эффект проявляется за счет функциональных гидроксильных групп, которые хелатируют ионы металлов и разрушают свободные радикалы [16]. Наряду с этим, по результатам некоторых исследований, было показано, что флавоноиды обладают способностью индуцировать защитные ферментные системы человека. Также, была выявлена противовирусная и противобактериальная активность флавоноидов [15-19].

Флавоноиды также играют большую роль в растениях в защите от окислительного стресса, который возникает в ответ на действие самых различных стрессоров биотической и абиотической природы. Кроме того, они регулируют активность и содержание некоторых факторов роста растения, например, ауксина [19].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о достаточно высоком содержании фенольных соединений и флавоноидов у каждого сорта капусты кейл, выращенных в условиях Республики Татарстан.

На рисунке 1 указано, что суммарное содержание фенольных соединений у гибрида Redbor F₁ было 3.072% и 2.633% – у сорта Dwarf Blue Scotch. Содержание флавоноидов было 0.891% у Redbor F₁ и 0.742% – у сорта Dwarf Blue Scotch.

В наших экспериментах содержание фенольных соединений было высоким и варьировало от 2633 до 3072 мг/100 г сухой массы. В работах других авторов содержание фенольных соединений варьировало от 201 до 1167 мг/100 г сухой массы [20].

На основании полученных нами результатов установлено, что содержание флавоноидов в листьях варьировало в пределах 742-891 мг/100 г сухой массы. Аналогичные результаты

получены в исследованиях [20], значение показателя колеблется в интервале 646-892 мг/100 г сырой массы.

В других исследованиях было установлено, что в капусте кейл содержится девять фенольных соединений в листьях и десять – в семенах [21]. Наиболее распространены феруловая и кофейная кислоты (суммарное содержание 4269 и 4887 нг/г соответственно) и синнаповая кислота (5037 нг/г сухой массы) [21].

Из флавоноидов капуста кейл содержит высокие количества флавоноловых агликонов кемпферола и кверцетина, за ними следует изорамнетин [20-22]. Флавоноиды могут ингибировать окисление свободных радикалов кислорода, образующихся в процессе метаболизма [23]. Общее содержание этих флавоноловых агликонов является сортоспецифичным и варьировало между 6,0 и 14,8 мг в 1г сухого вещества, что соответствует 97,4-298,5 мг на 100 г сырого вещества у сортов

Проведенный хроматографический анализ продемонстрировал большое количество фенольных кислот, прежде всего таких, как галловая, синнаповая и коричная кислоты и флавоноидов (кэмпферол, рутин и кверцетин) у обоих сортов (рис. 2 и 3), что может свидетельствовать о высоком антиоксидантном потенциале капусты кейл.

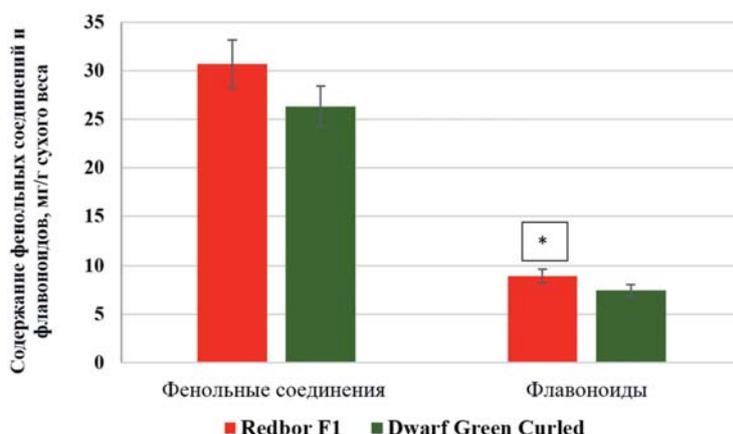


Рис. 1. Содержание фенольных соединений и флавоноидов у двух образцов капусты кейл (Dwarf Blue Scotch –зеленый и Redbor F₁ –красный), мг/г сухой массы
 * - отличия между красными и зелёными образцами при $p < 0.05$
Fig 1. Content of phenolic compounds and flavonoids in two varieties of kale (Dwarf Blue Scotch –green and Redbor F₁ –red), mg/g dry weight
 * - differences between red and green samples at $p < 0.05$

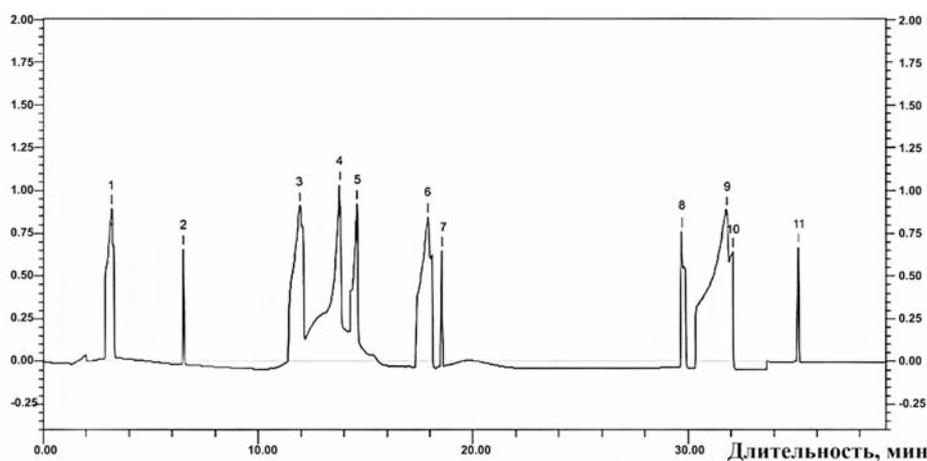


Рис. 2. Хроматограмма обращенно-фазовой ВЭЖХ спиртового экстракта из листьев капусты кейл (сорт Dwarf Blue Scotch), выращенной на территории Республики Татарстан. Детекция при 280 и 360 нм.
Порядок разделения фенольных кислот и флавоноидов: 1 - галловая кислота, 2 - изорамнетин, 3 - рутин, 4 - кверцетин, 5 - кемпферол, 6 - синнаповая кислота, 7 - феруловая кислота, 8 - кофейная кислота, 9 - коричная кислота, 10 - салициловая кислота, 11 - кумаровая кислота. Ось ординат – единица поглощения, ось абсцисс – время выхода, мин
Fig. 2. Reversed-phase HPLC chromatogram of an alcoholic extract from kale leaves (variety Dwarf Blue Scotch) grown in the territory of the Republic of Tatarstan. Detection at 280 and 360nm. The order of separation of phenolic acids and flavonoids: 1 - gallic acid, 2 - isorhamnetin, 3 - rutin, 4 - quercetin, 5 - kaempferol, 6 - synnaptic acid, 7 - ferulic acid, 8 - caffeic acid, 9 - cinnamic acid, 10 - salicylic acid, 11 - coumaric acid. The y-axis is the absorption unit, the abscissa axis is the exit time, min

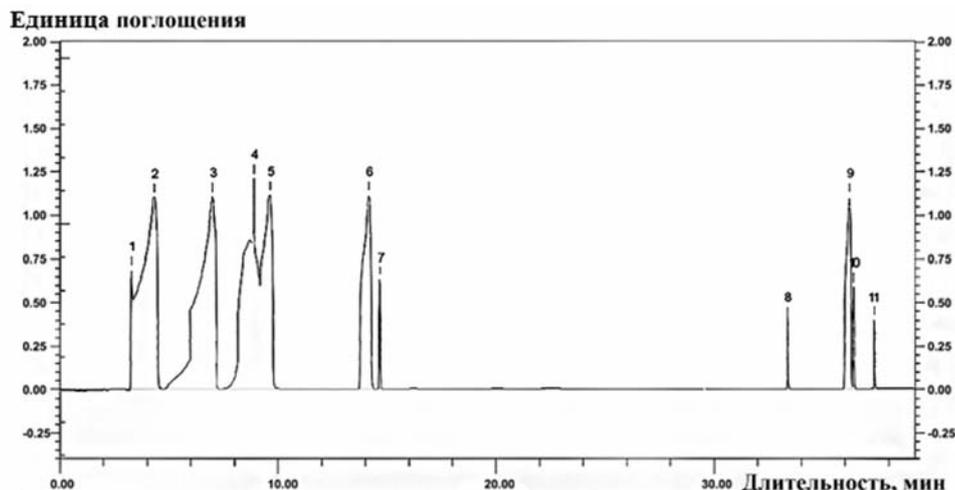


Рис. 3. Хроматограмма обращенно-фазовой ВЭЖХ спиртового экстракта из листьев капусты кейл (сорт Redbor F₁), выращенной на территории Республики Татарстан. Детекция при 280 и 360нм. Порядок разделения фенольных кислот и флавоноидов: 1 - галловая кислота, 2 - изорамнетин, 3 - рутин, 4 - кверцетин, 5 - кемпферол, 6 - синнаповая кислота, 7 - феруловая кислота, 8 - кофейная кислота, 9 - коричная кислота, 10 - салициловая кислота, 11 - кумаровая кислота. Ось ординат – единица поглощения (значения хроматографа), ось абсцисс- время выхода, мин

Fig. 3. Reversed-phase HPLC chromatogram of an alcoholic extract from kale leaves (Redbor F₁ variety) grown in the territory of the Republic of Tatarstan. Detection at 280 and 360nm. The order of separation of phenolic acids and flavonoids: 1 - gallic acid, 2 - isorhamnetin, 3 - rutin, 4 - quercetin, 5 - kaempferol, 6 - cinnamic acid, 7 - ferulic acid, 8 - caffeic acid, 9 - cinnamic acid, 10 - salicylic acid, 11 - coumaric acid. The y-axis is the absorbance unit (chromatograph values), the abscissa is the exit time, min

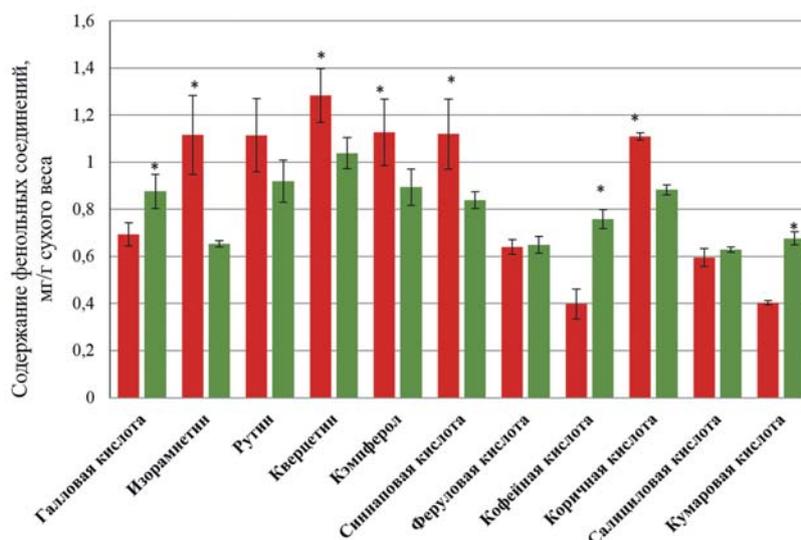


Рис. 4. Количественный состав фенольных соединений двух сортов (Dwarf Blue Scotch –зеленый и Redbor F₁ –красный) (количеству вещества в единице поглощения).

*отличия между красными и зелёными образцами при p<0.05

Fig. 4. Quantitative composition of phenolic compounds of two varieties (Dwarf Blue Scotch –green and Redbor F₁ –red) (amount of substance per absorption unit).

*Differences between red and green samples at p<0.05

По сравнению с сортом Dwarf Blue Scotch», общее количество фенольных соединений было больше у гибрида Redbor F₁ в 1.4 раза (рис. 4). Количество изорамнетина, кверцетина, кемпферола, синнаповой и коричной кислот были выше у гибрида Redbor F₁, в то время как количество галловой, кофейной и кумаровой кислот было выше у сорта Dwarf Blue Scotch.

Эти данные согласуются с результатами Schmidt et al. [12], которые исследовали состав фенольных соединений в листьях 8 сортов капусты кейл в разных климатических условиях и обнаружили, что содержание кверцетина, кемпферола и изорамнетина намного выше по отношению к другим фенольным соединениям. Тем не менее, количество этих флавоноидов сильно зависит от климатических условий, в которых произрастали растения.

Закключение

Таким образом, проведенный комплексный анализ фенольных соединений капусты кейл двух образцов продемонстрировал, что гибрид Redbor F₁ характеризуется более высоким содержанием фенольных соединений и флавоноидов, по сравнению с сортом Dwarf Blue Scotch.

Данные различия могут быть связаны с происхождением данных образцов и разницей в ростовых параметрах растений капусты кейл (гибрид Redbor F₁ имеет большую корневую систему и более мощный стебель).

Представленные результаты свидетельствуют о том, что гибрид Redbor F₁ может быть использован для разработки приемов повышения эффективности синтеза вторичных метаболитов, полезных для здоровья человека, и рекомендован фермерам для выращивания.

• Литература / References

- Pennington J.A.T., Fisher R.A. Classification of fruits and vegetables. *Food Composition and Analysis*. 2009;(22):S23-S31. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.11.012>
- Pem D., Jeewon R. Fruit and vegetable intake: Benefits and progress of nutrition education interventions-narrative review article. *Iranian Journal of Public Health*. 2015;(44):1309-1321.
- Aune D., Giovannucci E., Boffetta P., Fadnes L.T., Keum N., Norat T., Greenwood D.C., Riboli E., Vatten L.J., Tonstad S. Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality-A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *International Journal of Epidemiology*. 2017;(46):1029-1056. <https://doi.org/10.1093/ije/dyw319>
- Šamec D., Urlić B., Salopek-Sondi B. Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;(59):241-2422. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1454400>
- Noichinda S., Bodhipadma K., Mahamontri C., Narongruk T., Ketsa S. Light during storage prevents loss of ascorbic acid and increases glucose and fructose levels in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*). – *Postharvest Biology and Technology*. 2007;(44):312-315. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.006>
- Walsh R.P., Bartlett H., Eperjesi F. Variation in Carotenoid Content of Kale and Other Vegetables: A Review of Pre- and Post-harvest Effects. *Agricultural and Food Chemistry*. 2015;(63):9677-9682. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03691>
- Джантасова А.С., Т.Е. Айтбаев, Нусупова А.О., Джантасов С.К. оценка продуктивности листовой капусты кале в условиях открытого грунта юго-востока Казахстана. *Изденистер, нәтижелер – Исследования, результаты*. 2023;(97):2304-3334. <https://doi.org/10.37884/1-2023/05> [Dzhtantassova A.S., T.E. Aitbaev, Nusupova A.O., Dzhtantassov S.K. assessment of the productivity of kale cabbage in open ground conditions in south-east Kazakhstan. *Izdenister, natzheler – Research, results*. 2023;(97):2304-3334. <https://doi.org/10.37884/1-2023/05> (In Russ.)]
- Ashenafi E.L., Nyman M.C., Holley J.M., Mattson N.S., Rangarajan A. Phenotypic plasticity and nutritional quality of three kale cultivars (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) under field, greenhouse, and growth chamber environments. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;(199):104895. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104895>
- Pojer E., Mattivi F., Johnson D., Stockley C.S. The case for anthocyanin consumption to promote human health: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013;(12):483-508. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12024>
- Алмуграби Е., Калимуллин М.И., Мостякова А.А., Тимофеева О.А. Фитохимический состав *Brassica oleracea* var. *sabellica* в онтогенезе. *АгроЭкоИнфо*. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_115.pdf [Almugrabi E., Kalimullin M.I., Mostyakova A.A., Timofeeva O.A. Phytochemical composition of *Brassica oleracea* var. *sabellica* in ontogenesis. *AgroEcolInfo*. 2020. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_115.pdf (In Russ.)]
- Anteh J.D., Almugrabi E., Mostyakova A., Timofeeva O. Biochar influences on phytochemical composition and expression genes of curly kale at different treatment times. *Turkish Journal of Botany*. 2023;(47):529-540. <https://doi.org/10.55730/1300-008X.2782>
- Schmidt S., Zietz M., Schreiner M., Rohn S., Kroh L.w., Krumbein A. Genotypic and climatic influences on the concentration and composition of flavonoids in kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*). *Food Chemistry*. 2010;(119):1293-1299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.004>
- Krumbein A., Saeger-Fink H., Schonhof I. Changes in quercetin and kaempferol concentrations during broccoli head ontogeny in three broccoli cultivars. *Applied Botany and Food Quality*. 2007;(81):136-139.
- Vidal N.P., Pham H.T., Manful C., Pumphrey R., Nadeem M., Cheema M., Galagedara L., Leke-Aladekoba F., Abbey L., Thomas R.R. The use of natural media amendments to produce kale enhanced with functional lipids in controlled environment production system. *Scientific Reports*. 2018;(8):14771. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32866-5>
- Kuerban A., Yaghmooor S.S., Almulaiky Y.Q., Mohamed Y.A., Razvi S.S., Hasan M.N., Moselhy S.S., Al-Ghafari A., Alsufiani H.M., Kumosani N.A., AL-Malki A. Therapeutic Effects of Phytochemicals of *Brassicaceae* for Management of Obesity. *Pharmaceutical Research International*. 2017;(19):1-11. <https://doi.org/10.9734/jpri/2017/37617>
- Cisneros-Zevallos L. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. *Food Science*. 2003;(68):1560-1565. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12291.x>
- Jacobo-Velázquez D.A., González-Aguëro M., Cisneros-Zevallos L. Cross-talk between signaling pathways: The link between plant secondary metabolite production and wounding stress response. *Scientific Reports*. 2015;(5):8608. <https://doi.org/10.1038/srep08608>
- Ortega-Hernández E., Antunes-Ricardo M., Jacobo-Velázquez D.A. Improving the Health-Benefits of Kales (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC) through the Application of Controlled Abiotic Stresses: A Review. *Plants*. 2021;(10):2629. <https://doi.org/10.3390/plants10122629>
- Gupta R.K., Dudeja P. Food Packaging. Food Safety in the 21st Century, Academic Press. 2017. P. 491-496. ISBN 978-0-12-801773-9.
- Neela S., Solomon W.F. Kale: Review on nutritional composition, bio-active compounds, anti-nutritional factors, health beneficial properties and value-added products. *Cogent Food & Agriculture*. 2020;(6):1811048. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1811048>
- Ayaz F.A., Ayaz S.H., Karaoglu S.A., Gru'z J., Valentova' K., Ulrichova' J., Strnad M. Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.) extracts and their antioxidant and antibacterial activities. *Food Chemistry*. 2008;(7):19-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.003>
- Huang Z., Wang B., Eaves D.H., Shikany J.M., Pace R.D. Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by African Americans in the southeast United States. *Food Chemistry*. 2007;(103):1395-1402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.077>
- Neill S.O., Gould K.S. Anthocyanins in leaves: Light attenuators or antioxidants? *Functional Plant Biology*. 2003;30(8):865-873. <https://doi.org/10.1071/FP03118>

Об авторов:

Есраа Алмуграби – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, автор для переписки, esraaalmgrabe@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7341-7841>, SPIN-код: 2822-3903

Инсаф Вакифович Галиев – аспирант кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, defotan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2328-1568>

Римма Павловна Хакимзянова – магистрант кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, hakimru@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0975-8910>

Антонина Анатольевна Мостякова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, AAMostyakova@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3854-1913>, SPIN-код: 6255-0991

Ольга Арнольдовна Тимофеева – доктор биологических наук, профессор, заведующей кафедрой ботаники и физиологии растений, институт Фундаментальной медицины и биологии, otimofeeva2008@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4921-458X>, AuthorID: 107661

About the Authors:

Esraa Almugrabi – Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer at the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, Corresponding Author, esraaalmgrabe@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-7341-7841>, SPIN code: 2822-3903

Insaf V. Galiev – Graduate Student of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, defotan@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2328-1568>

Rimma P. Khakimzyanova – Master's Student of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, hakimru@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0975-8910>

Antonina A. Mostyakova – Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, AAMostyakova@kpfu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3854-1913>, SPIN code: 6255-0991

Olga A. Timofeeva – Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Department of Botany and Plant Physiology, Institute of Fundamental Medicine and Biology, otimofeeva2008@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-4921-458X>, AuthorID: 107661