

СОРТОСПЕЦИФИЧНОСТЬ ФИТОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА *B. OLERACEA L. VAR. ACEPHALA*

Алмуграби Е., Калимуллин М.И., Мостякова А.А., Тимофеева О.А.

Казанский федеральный университет, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Цель работы - Провести сравнительный анализ содержания фенольных соединений, флавоноидов, каротиноидов, витамина С, белка и сахаров в разных сортах капусты кейл (*B. oleracea L. convar. Acephala*). В качестве объекта исследования использовали 2 сорта капусты кейл - Премьер-капуста, Dwarf Blue Curled с зелеными листьями, сорт Redbor с красными листьям и сорт Scarlet – с фиолетовыми. Было показано, что содержание фенольных соединений и флавоноидов было значительно выше в красных сортах, по сравнению с зелеными. Количество каротиноидов было выше в зеленых сортах. Самое высокое содержание флавоноидов было обнаружено у сорта у «Scarlet», содержание витамина С - у сорта «Redbor». Тем не менее, по количеству белков и сахаров существенных различий между сортами выявлено не было.

Ключевые слова. Капуста кейл, фенольные соединения, витамин С, каротиноиды, сахара, белки.

VARIETY SPECIFICITY OF PHYTOCHEMICAL COMPOSITION *B. OLERACEA L. VAR. ACEPHALA*

Almughraby E., Kalimullin M. I., Mostyakova A.A, Timofeeva O.A

Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

Abstract. Purpose of work - Comparative analysis the content of phenolic compounds, flavonoids, carotenoids, vitamin C, protein and sugars in different varieties of cabbage kale (*B. oleracea L. convar. Acephala*). As an object of study, we used 2 varieties of cabbage kale - Premier cabbage, Dwarf Blue Curled with green leaves, Redbor with red leaves and Scarlet with purple. It was shown that the content of phenolic compounds and flavonoids was significantly higher in red varieties, compared with green. The content of carotenoids was higher in green varieties. The highest content of flavonoid was found in the variety «Scarlet» and vitamin C in the variety «Redbor». However, the amount of proteins and sugars, there were no significant differences between the varieties.

Keywords. Cabbage kale, phenolic compounds, vitamin C, carotenoids, sugars, proteins

Введение. Овощи, принадлежащие к семейству *Brassicaceae*, чаще всего выращиваются и потребляются во всем мире. Одним из представителей этого семейства является кудрявая капуста (*B. oleracea L. var. acephala*) - листовой зеленый или пурпурно-красный овощ с устойчивостью к широкому спектру климатических и сельскохозяйственных условий. Она популярна в Южной Америке, а также в Северной Азии и в Европе [1]. Капуста кейл богата пищевыми волокнами, глюкозинолатами, минеральными веществами и антиоксидантными соединениями, включая простые фенольные соединения, флавоноиды, витамины и каротиноиды, и оказывают благотворное влияние на организм человека [2].

Кейл занимает важное место в кулинарии и рационе населения Европы, Азии и Америки. Листья капусты обычно употребляют в виде салата, соков и готовят в виде разнообразных суповых блюд, омлетов и чипсов. Некоторые части растения иногда готовятся в виде соленья. В последнее время очень популярным стало добавление замороженных листьев капусты в напитки. Кроме того, капусту кейл используют в народной медицине для лечения многих заболеваний [2].

Цель настоящей работы – Провести сравнительный анализ содержания фенольных соединений, флавоноидов, каротиноидов, витамина С, белка и сахаров в разных сортах капусты кейл (*B. oleracea L. convar. Acephala*).

Материалы и методы исследований. Объектом исследования были 2 сорта зеленой капусты кейл (*B. oleracea L. convar. acephala. var. sabellica*) - Премьер-капуста, Dwarf Blue Curled, красной - Redbor и фиолетовой – Scarlet. Растения выращивали в Ботаническом саду Казанского Федерального Университета. Пробы отбирали через 20 недель после посадки при температуре - 6°C.

Фенольные соединения определяли по модифицированному методу Фолина-Чокальта [3]. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре при 725 нм. Флавоноиды определяли по реакции

с $AlCl_3$ калориметрическим методом [4]. Содержание витамина С определяли как сумму аскорбиновой кислоты (AA) и дегидроаскорбиновой кислоты (DHAА) с использованием спектрофотометрического метода [5]. Содержание сахаров определяли антронным методом [6]. Содержание белка определяли по методу Lowry [7]. Для определения содержания каротиноидов в ацетоновом вытяжке использовали формулу Веттштейна [8].

Эксперименты проводились в трех биологических репликах. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью Microsoft Excel. Надежность разницы определялась по критерию Манна-Уитни при $P \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Капуста кейл обладает высокой антиоксидантной активностью, которая оказывает благотворное влияние на организм человека. Известно, что фенольные соединения проявляют антиоксидантную активность, что делает их незаменимым компонентом лекарственных препаратов и многих пищевых добавок для человека [9]. В настоящее время в капусте кейл было идентифицировано порядка 70 флавоновых гликозидов [10]. Общее содержание фенольных соединений в нашем исследовании было в пределах от 717.2 до 888.2 мг/100г сырого веса (табл.1). Было обнаружено, что содержание фенольных соединений и флавоноидов были значительно выше в листьях красных сортов капусты «Redbor» и «Scarlet», по сравнению с зелеными сортами. Существенной разницы в содержании фенольных соединений у зеленых сортов не было, однако, из красных сортов самым высоким количеством растворимых фенольных соединений характеризовался сорт «Scarlet». В исследовании (Waterland et al., 2019), которые изучали содержание полифенолов в трех разных сортах капусты кейл 'Dwarf Blue Curled' 'Scarlet' и 'Red Russian', было показано, что содержание полифенолов составляло от 145 до 284 мг/100 г сырого веса [11]. В работе (Sikora, Bodziarczyk., 2012) общее содержание фенолов в листьях (*B. oleracea* L. convar. *Acephala*) зеленого сорта Winterbor варьировало от 503,48 до 675,50 мг/100г сырого веса [12]. Такой разброс в значениях, полученных разными авторами, может быть связан с особенностями сорта, условиями выращивания или методами определения общих фенольных соединений. Довольно высокие количества фенольных соединений, обнаруженные в наших экспериментах, могут быть обусловлены тем, что анализ растений проводили после первых заморозков. Как известно, низкотемпературный стресс индуцирует образование активных форм кислорода, и, как следствие, синтез различных антиоксидантов, к числу которых относятся и фенольные соединения.

Общее содержание флавоноидов варьировало от 145,6 до 271,0 мг/100г сырого веса. Среди изученных сортов наиболее высоким уровнем флавоноидов характеризовался сорт красной капусты «Scarlet» (табл.1). Наши данные согласуются с результатами, полученными (Schmidt et al., 2010), которые изучали содержание флавоноидов в восьми сортах капусты (*B. oleracea* L. convar. *acephala* var. *sabellica*). Согласно их данным количество флавоноидов в капусте кейл было 97,4–298,5 мг/100г сырого веса [10]. Одной из причин высокого уровня флавоноидов у сортов красной капусты может быть то, что они содержат очень большое количество антоцианов, по сравнению с зелеными сортами [11].

По данным Министерства сельского хозяйства США, среди овощей капуста кейл содержит самое высокое количество лютеина и β -каротина [13]. Каротиноиды в организме человека стимулируют иммунную систему и снижают риск развития таких заболеваний, как рак, возрастная мышечная дегенерация, катаракта, сердечно-сосудистых заболеваний [2]. Согласно нашим данным, содержание каротиноидов было в пределах 9,8–17,4 мг/100г сырого веса. Обнаружено, что количество каротиноидов было самым высоким у зеленого сорта «Dwarf Blue Curled», а самым низким - у сорта «Redbor» (табл.1). Было показано, что содержание β -каротина в исследованиях [11] составляло 3,41–3,86 мг/100г сырого веса, общее количество каротиноидов у сорта Winterbor было 5,05–7,31 мг/100г сырого веса [12].

Таблица 1 – Фитохимический состав разных сортов капусты кейл (*B. oleracea* L. var. *acephala*), (мг/100г сырого веса).

	Премьер-капуста	Dwarf Blue Curled	Redbor	Scarlet
Фенольные соединения	688.7±37.31b	717.2±14.23b	834.0±32.90a	888.2±53.40a
Флавоноиды	145.6±7.08c	153.6±5.33c	191.8±3.43b	271.0±9.54a
Каротиноиды	15.3±0.90b	17.4±0.85a	9.8±0.69c	13.8±1.13b
Витамин С	119.1±1.99b	129.6±4.21b	190.4±7.11a	134.6±2.43b
Белки	3.61±0.34a	3.43±0.16a	3.517 ±0.13a	3.80±0.24a
Сахар	2.08±0.27a	2.03±0.19a	2.42± 0.30a	2.06±0.05a

Значение представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение (n=3).

Значение отмеченными одинаковыми буквами в каждом ряду, не имеют существенных различий ($p < 0.05$).

Витамин С также является антиоксидантом и участвует в ингибировании перекисного окисления липидов. Наши результаты продемонстрировали, что капуста кейл является богатым источником витамина С, особенно сорт «Redbor». Содержание витамина С в листьях было от 119,1 до 190,4 мг/100г сырого веса (табл.1). В некоторых работах показано, что эти значения могут быть несколько выше наших [14] и составляют от 100 до 300 мг/100г сырого веса. В то же время, Davey et al., (2000) показано, что содержание витамина С в капусте кейл было 186 мг/100г сырого веса [15], а согласно данным Министерства сельского хозяйства США - 120 мг/100г сырого веса [13].

Капусту кейл в последнее время называют «суперфуд», в т.ч. из-за высокого содержания углеводов и белков. В наших экспериментах не наблюдали значительной разницы в содержании сахаров между изученными сортами. Полученные значения количества сахаров 2.03-2.42 мг/100г сырого веса согласуются с результатами Министерства сельского хозяйства США, согласно которым содержание сахаров в капусте кейл составляет 2.26мг/100г сырого веса [13]. Известно, что в период адаптации растений к морозу в разных органах увеличивается содержание сахаров. Накопление растворимых сахаров в акклиматизированных к холоду растениях предполагает их роль в качестве осморегуляторов, криопротекторов или сигнальных молекул [16]. В исследовании (Steindal et al., 2015) было показано, что содержание сахаров в листьях капусты кейл (*Brassica oleracea L. var acephala*) зависит от температуры и может колебаться от 4,5 до 12,1г/100г сухого веса. Увеличение количества сахаров происходило при холодовой акклимации, при этом улучшались вкусовые свойства капусты. [16]. Пересчет на сухой вес показал, что и в наших экспериментах в условиях отрицательных температур содержание сахаров в листьях составляло от 10,5 до 12,2г/100 г сухого веса.

Капуста кейл, в отличие от других представителей семейства *Brassica*, богата белком, что делает полезным данный овощ для людей, не употребляющих животные белки [2]. Так же, как и в случае сахаров, не наблюдали значительных различий в содержании белков у разных сортов. При этом количество белка составляло 3.43-3.80 мг/100г сырого веса (табл.1). По данным Министерства сельского хозяйства США содержание белка в капусте кейл составляет 4.28 мг/100г сырого веса [13]. В работах других авторов также показано, что содержание белка было в пределах 3,97-4,37 мг/100 г сырого веса [12].

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что разные сорта *B. oleracea L. var. acephala*, выращенные в условиях России, характеризуются высоким содержанием соединений, полезных для здоровья человека. Содержание фенольных соединений и флавоноидов было значительно выше в красных сортах, по сравнению с зелеными. Количество каротиноидов было выше в зеленых сортах. Самое высокое содержание флавоноидов было обнаружено у сорта «Scarlet», содержание витамина С - у сорта «Redbor». Тем не менее, по количеству белков и сахаров существенных различий между сортами выявлено не было.

Список использованных источников

1. Migliozi M., Thavarajah D., Thavarajah P., Smith P. Lentil and kale: complementary nutrient-rich whole food sources to combat micronutrient and calorie malnutrition // *Nutrients*.– 2015. – № 7. – P. 9285–9298.
2. 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*.– 2018. – № 59. – P. 2411–2422.
3. Velioglu Y. S., Mazza G., Gao L., Oomah B. D. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products// *Agricultural and Food Chemistry*. – 1999. – № 46. – P. 4113–4117.
4. Zhishen J., Mengcheng T., Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals// *Food Chem*. – 1999. – № 64. – P. 555–559.
5. Соколовский В.В., Лебедева Л.В., Лиэлуп Т.Б. О методе отдельного определения АК, ДАК, и дикетоглуновой кислот (ДКГК) в биологических тканях // *Лабораторное дело*. – 1974. – № 3. – С. 57-63.
6. Тимофеева О.А. Практикум по физиологии и биохимии растений: метод. Руководство – Казанский университет. – 1998. – 24 с.
7. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with Folin phenol reagent // *Biol. Chem*. –1951. – V. 193 (1).– P. 265-275.
8. Воробьев В.Н., Невмержицкая Ю.Ю., Хуснетдинова Л.З., Якушенкова Т.П. Практикум по физиологии растений: учебно-методическое пособие: Казанский университет., 2013. – 80 с.
9. Chun O. K., Kim D. O., Smith N., Schroeder D., Han J. T., Lee C. Y. Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet// *Science of Food and Agriculture*. – 2005. – № 85. – P. 1715–1724.

10. Schmidt S.A., Zietz M.B., Schreiner M.A., Rohn S.B., Kroh L.W., Krumbein A.B. Genotypic and climatic influences on the concentration and composition of flavonoids in Kale (*Brassica Oleracea* Var. *Sabellica*) // Food Chemistry . – 2010. – V. 119. – P. 1293–1299.
11. Waterland N.L., Moon Y., Tou J.C., Kopsell D.A., Kim M.J., Park C. Differences in Leaf Color and Stage of Development at Harvest Influenced Phytochemical Content in Three Cultivars of Kale (*Brassica oleracea* L. and *B. napus*) // Journal of Agricultural Science Chemistry . – 2019. – V. 11(3) .– P. 14–21.
12. Sikora E., Bodziarczyk I. Composition and antioxidant activity of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) raw and cooked // Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. – 2012. – V. 11(3) .– P. 239-248.
13. U.S. Department of Agriculture. *National nutrient database for standard reference, release 28*. Washington, D.C., USA: U.S. Department of Agriculture. –2016.
14. Skąpski H., Dąbrowska B., Uprawa warzyw w polu [Growing vegetables in the field] // Wyd. SGGW Warszawa. – 1994. – P. 76-81.
15. Davey M., Van Montagu M., Inze D., Sanmartin M., Kanellis A., Smirnoff N., Benzie I., Strain J., Favell D., Fletcher J. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing // Sci. Food Agric. . – 2000. – V. 80(7).– 825-860.
16. Steindal A.L.H., Rodven R., Hansen E., Molmann J. Effects of photoperiod, growth temperature and cold acclimatization on glucosinolates, sugars and fatty acids in kale // Food Chemistry. – 2015. – V.174.– P. 44–51.

Исследование выполнено в рамках программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров.