Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 581.1; 57.04

Фитохимический состав *Brassica oleracea var. Sabellica* в онтогенезе

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

Казанский федеральный университет

Аннотация

Цель работы – выяснить изменения в содержании фенольных соединений, флавоноидов, витамина С, каротиноидов, белка и сахаров в растениях капусты кейл в зависимости от возраста растений и условий выращивания.

Посев капусты проводили в начале июня 2019 года. Пробы для анализа (листья) отбирали через 8, 12, 16, 20 и 24 недели после посадки при температурах +16^{0}С, +16^{0}С, +14^{0}С, -6^{0}С и -6^{0}С, соответственно.

Показано, что Brassica oleracea var. Sabellica, выращенная в условиях России, характеризуется высоким содержанием соединений, полезных для здоровья. Содержание фенольных соединений, витамина С и сахаров было самым высоким через 20 недель после посадки при температуре -6°С, в то время как количество каротиноидов и белка достигло самого высокого значения на более ранних стадиях развития капусты кейл: через 12 недель при температуре +16°С. Отрицательные температуры увеличивают содержание фенольных соединений и витамина С, а также растворимых сахаров, тем самым улучшая вкусовые качества капусты. Содержание этих соединений очень значительно возросло после воздействия температурного стресса (20 недель), однако в адаптированных растениях (24 недели) их содержание уменьшалась. Полученные данные позволяют рекомендовать поздние сроки сбора урожая после первых заморозков для получения наиболее ценного сырья капусты кейл.

Ключевые слова: КАПУСТА КЕЙЛ, ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ОНТОГЕНЕЗ, ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ФЛАВОНОИДЫ, КАРОТИНОИДЫ, ВИТАМИН С, БЕЛКИ, САХАР

Введение

Овощи, принадлежащие к семейству *Brassicaceae*, чаще всего выращиваются и потребляются во всем мире. Один из представителей этого семейства, кудрявая капуста

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

кейл (*Brassica oleracea var. Sabellica*), является очень популярным листовым овощем в Центральной и Северной Европе, а также Северной Америке. Капуста кейл относится к морозоустойчивым растениям, произрастающим в широком диапазоне климатических и географических условий. Она является очень перспективной овощной культурой, которую можно использовать не только как пищевой продукт, но благодаря богатому фитохимическому составу – также для укрепления здоровья.

Биологическая ценность капусты определяется относительно высоким содержанием минеральных элементов (кальция, магния, железа, меди и цинка) и витаминов (особенно витамина С) и значительным количеством фенольных соединений, которые, наряду с каротиноидами, ответственны за высокую антиоксидантную активность этого растения, Кроме того, растения этого семейства содержат относительное высокое количество белков, свободные сахара, органические кислоты, аминокислоты и липиды, которые играют важную роль в рационе человека [1], но уровень этих соединений зависит от факторов окружающей среды, стадии созревания, места произрастания и условий роста, поэтому необходимо было оценить количество этих соединений на разных этапах развития и при разных температурах.

Цель настоящей работы – выяснить изменения в содержании фенольных соединений, флавоноидов, витамина С, каротиноидов, белка и сахаров в растениях капусты кейл в зависимости от возраста растений и условий выращивания.

Материалы и методы исследований

Посев капусты проводили в начале июня 2019 года. Пробы для анализа (листья) отбирали через 8, 12, 16, 20 и 24 недели после посадки при температурах $+16^0$С, $+16^0$С, $+14^0$С, -6^0С и -6^0С, соответственно.

Фенольные соединения определяли по модифицированному методу Фолина-Чокальта [2]. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре при 725 нм. Содержание фенольных соединений определяли в пересчете на галловую кислоту. Флавоноиды определяли по реакции с AlCl3 колориметрическим методом [3] при длине волны 420 нм. Содержание витамина С определяли как сумму аскорбиновой кислоты (AA) и дегидроаскорбиновой кислоты (DHAA) с использованием спектрофотометрического метода [4]. Содержание сахаров определяли антроновым

методом [5]. Содержание белка определяли по методу Lowry [6]. Для определения содержание каротиноидов в ацетоновой вытяжке использовали формулу Веттштейна [7].

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

Известно, что фенольные соединения оказывают профилактическое действие на здоровье человека, а также могут проявлять антиоксидантную активность, что делает их незаменимым компонентом лекарственных препаратов и многих пищевых добавок для человека [8]. Листья и семена капусты кейл являются хорошим источником природных фенольных антиоксидантов. Было обнаружено девять фенольных кислот в листьях и десять – в семенах капусты [9].

В наших экспериментах (рис. 1) показано, что содержание фенольных соединений постепенно увеличивается в онтогенезе, достигая самых больших значений на двадцатой неделе, а затем снижается.

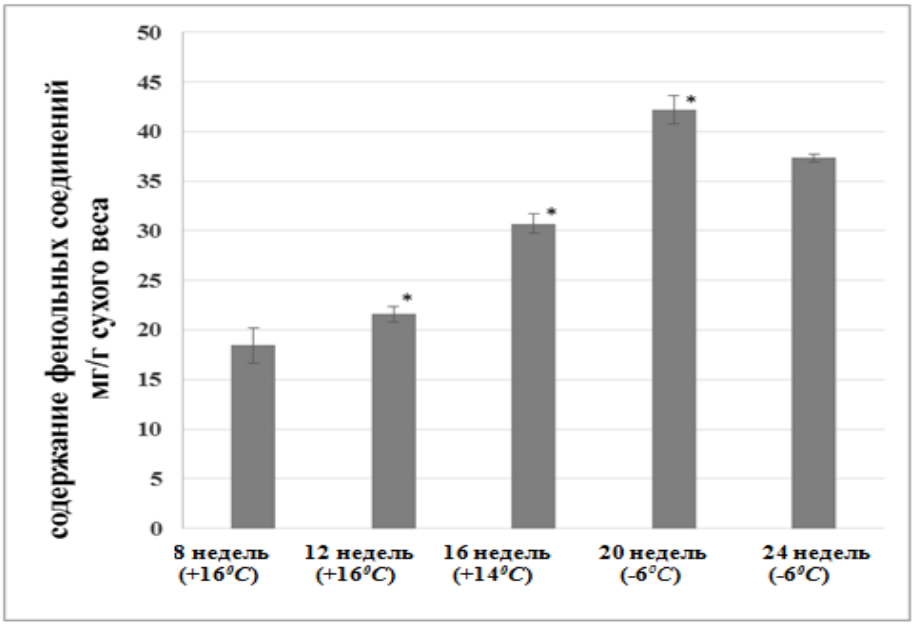

Рис. 1. Содержание фенольных соединений в растениях *Brassica oleracea var. Sabellica* в онтогенезе

В разных исследованиях показано, что содержание фенольных соединений в

онтогенезе сначала увеличивается, а на поздних стадиях зрелости снижается. Поскольку синтез первичных и вторичных метаболитов идет из одних и тех же предшественников, вероятно, на ранних этапах онтогенеза идет активный рост растений, и предшественники, преимущественно, используются на синтез первичных метаболитов. По мере развития растений содержание фенольных соединений увеличивается. Это может быть связано с тем, что фенольные соединения необходимы для биосинтеза вторичных клеточных стенок и в качестве защитных веществ. Так, в листьях капусты Tronchuda (*B. oleracea var. Costata*) было обнаружено около 11,1 мг фенолов на кг сухой массы в первые две недели жизни растения. Через десять дней это значение уменьшилось на 85% [10]. Более поздние стадии развития у белой (*B. oleracea var. Capitata*) и китайской (*Brassica rapa var. Pekinensis*) капусты характеризуются значительным увеличением общего содержания флавоноидов (начиная с четвертой недели после прорастания до двенадцатой недели) с последующим постепенным снижением [11]. Эти данные согласуются с результатами, полученными Pandjaitan et al. (2005), которые исследовали содержание фенольных соединений в листьях шпината на разных стадиях зрелости (молодые, средней зрелости и полной зрелости) и обнаружили, что содержание общих фенольных соединений и флавоноидов намного выше в фазе средней зрелости по сравнению с периодом полной зрелости и с молодыми листьями [12].

Кроме того, в наших экспериментах увеличение содержания растворимых фенольных соединений к 20 неделе может быть связано со снижением температур (с $+8^0$C до -6^0C) и вызываемым в связи с этим низкотемпературным стрессом, который индуцирует в клетке образование в т.ч. активных форм кислорода. Известно, что фенольные соединения играют важную роль в качестве антиоксидантов.

Флавоноиды являются одним из самых больших классов фенольных соединений. Они оказывают разнообразное действие на организм человека, способствуя профилактике многих хронических заболеваний [13].

Флавоноиды могут накапливаться в листьях и стеблях растения в ответ на неблагоприятные условия внешней среды, в т.ч., на низкие температуры. Они синтезируются через фенилпропаноидный путь, который контролируется ключевыми ферментами, такими как фенилаланин-аммиак-лиаза и халконсинтаза [14]. Недавно было сообщено, что холодовой стресс вызывает увеличение транскриптов генов этих ферментов, участвующих в биосинтезе флавоноидов [15].

Как видно из рис. 2, содержание флавоноидов постепенно увеличивается до 16-й недели, а затем не изменяется и не зависит от различных климатических условий (при температуре +14°C и -6°C, соответственно). Аналогичные результаты были получены Schmidt et al. (2010), которые изучали содержание флавоноидов в восьми сортах капусты (*Brassica oleracea var. Sabellica*) при снижении температуры (с 9,7 до 0,3 °C) и освещенности (с 713 до 172 ммоль/м^2 с). Было показано, что в шести из восьми сортов количество флавоноидов осталось неизменным с понижением температуры и радиации [16].

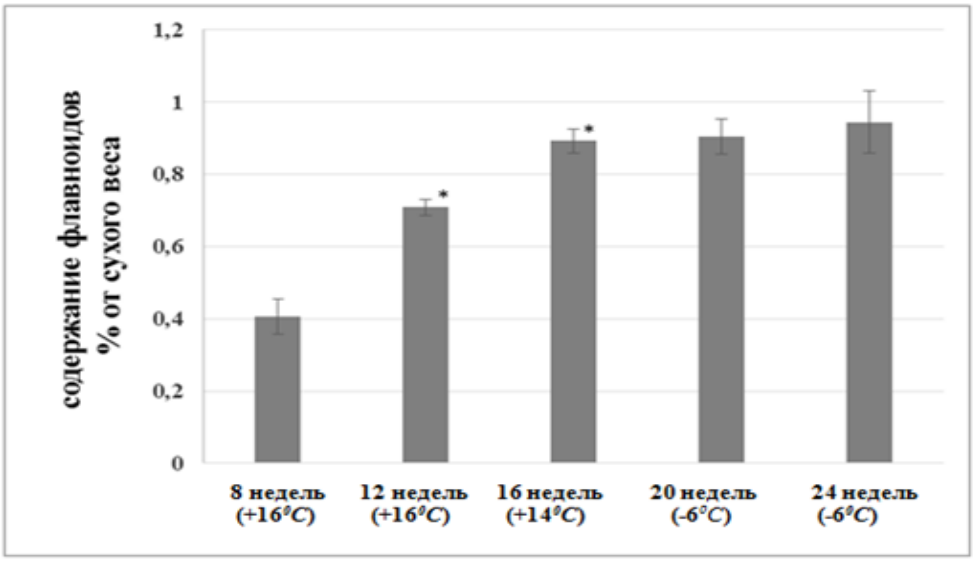

Рис. 2. Содержание флавоноидов в растениях *Brassica oleracea var. Sabellica* в онтогенезе

Капуста кейл не только богата фенольными соединениями, но также витаминами А, С, К, Е, В1, В2, В6. Они являются важными метаболитами растений, которые, как и флавоноиды, являются антиоксидантами и защищают клетку от активных форм кислорода, прежде всего, свободных радикалов кислорода, препятствуя перекисному окислению липидов. Согласно данным Becerra-Moreno et al. (2013), одна порция капусты обеспечивает более 100% рекомендуемой суточной дозы витамина А и более 40% витамина С [17].

В наших экспериментах содержание витамина С достигло максимального значения через 20 недель после посадки, на стадии полной зрелости (рис. 3) и при снижении температуры до -6°C.

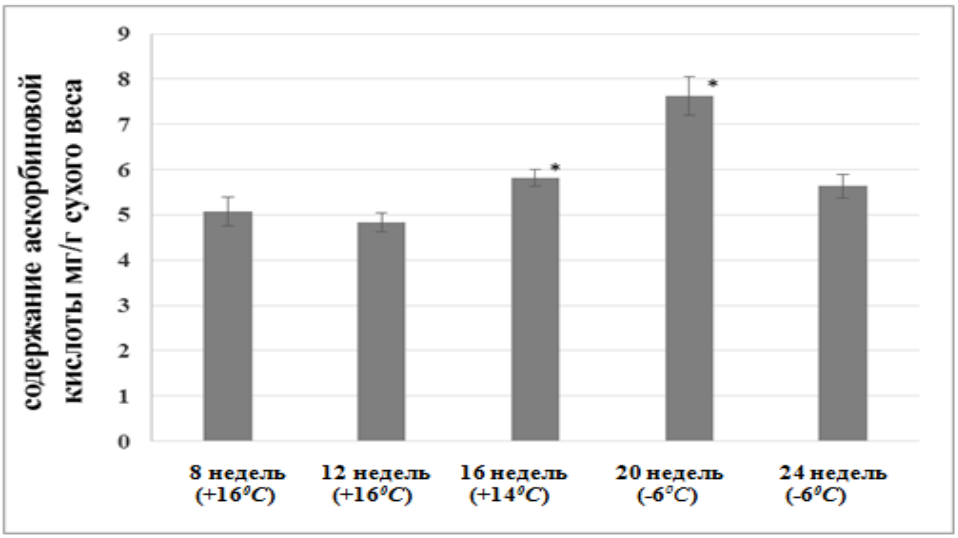

Рис. 3. Содержание аскорбиновой кислоты в растениях *Brassica oleracea var. Sabellica* в онтогенезе

Исследование состава *Brassica oleracea var.Sabellica* на разных стадиях развития показало, что в ходе онтогенеза увеличивается содержание витамина С, содержание минеральных элементов не изменяется, а содержание белков выше в молодых растениях [18].

Кроме того, установлено, что на содержание аскорбиновой кислоты в растениях влияет температурный режим. Растения, выращенные при низких температурах, накапливают большие количества аскорбиновой кислоты. Такое влияние низкой температуры на уровень аскорбиновой кислоты авторы связывают со стрессом и накоплением в связи с этим различных антиоксидантов, в т.ч. и аскорбиновой кислоты [19].

Одним из биохимических показателей реакции растений на изменения факторов окружающей среды и степени их адаптации к новым условиям является содержание хлорофиллов и каротиноидов. Каротиноиды, кроме того, относятся к липофильным антиоксидантам, которые рассматриваются как один из факторов устойчивости растений к различным стрессам. Увеличение их содержания связывают с выполняемыми ими антиоксидантными функциями.

Каротиноиды в организме человека стимулируют иммунную систему и снижают риск развития таких заболеваний, как рак, сердечно-сосудистые, возрастная мышечная дегенерация и образование катаракты [20].

Показано, что содержание каротиноидов может уменьшаться в процессе индивидуального развития у некоторых видов *Fabaceae* [21]. Согласно нашим данным, содержание каротиноидов несколько увеличивалось на первых этапах развития, а затем резко уменьшалось к 24-й неделе выращивания (рис. 4).

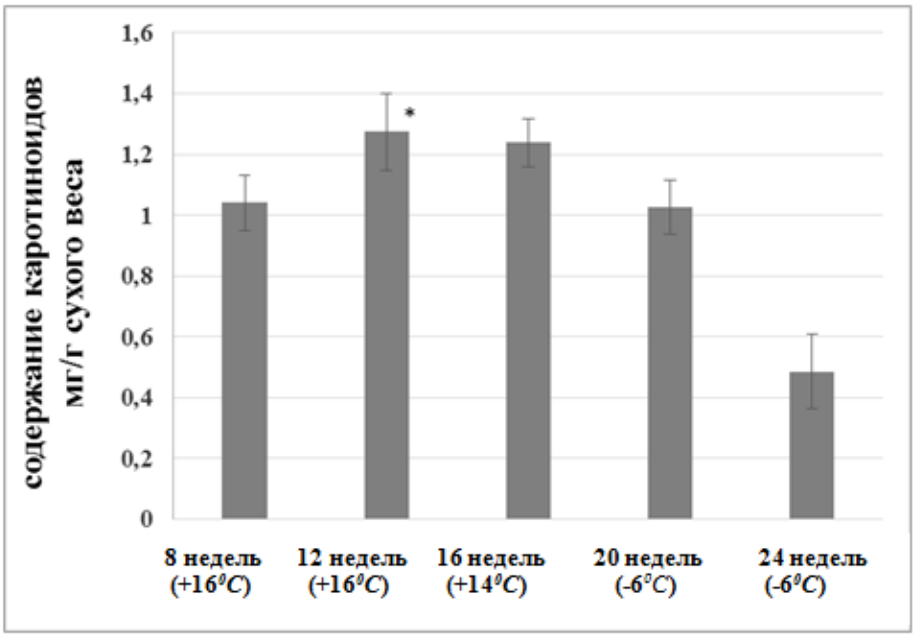

Рис. 4. Содержание каротиноидов в растениях
Brassica oleracea var. Sabellica в онтогенезе

Капусту кейл в последнее время называют «суперфуд», в т.ч. из-за высокого содержания углеводов и белков. В наших экспериментах содержание сахара увеличивается в онтогенезе и значительно возрастает через 20 недель при снижении температуры до -6°C (рис. 5).

Поскольку капуста кейл относится к морозоустойчивым культурам, низкая температура активирует в ее растениях адаптационные процессы, приводящие к повышению ее морозоустойчивости. 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 [22].

Во время воздействия низкой температуры содержание крахмала обычно снижается в результате гидролиза, вызывая соответствующее увеличение количества свободных сахаров. Однако в некоторых случаях зарегистрировано одновременное

увеличение уровней растворимых сахаров и крахмала в период холодовой акклиматизации, как показано в проростках белокочанной капусты, выращенных при 5^0C [23].

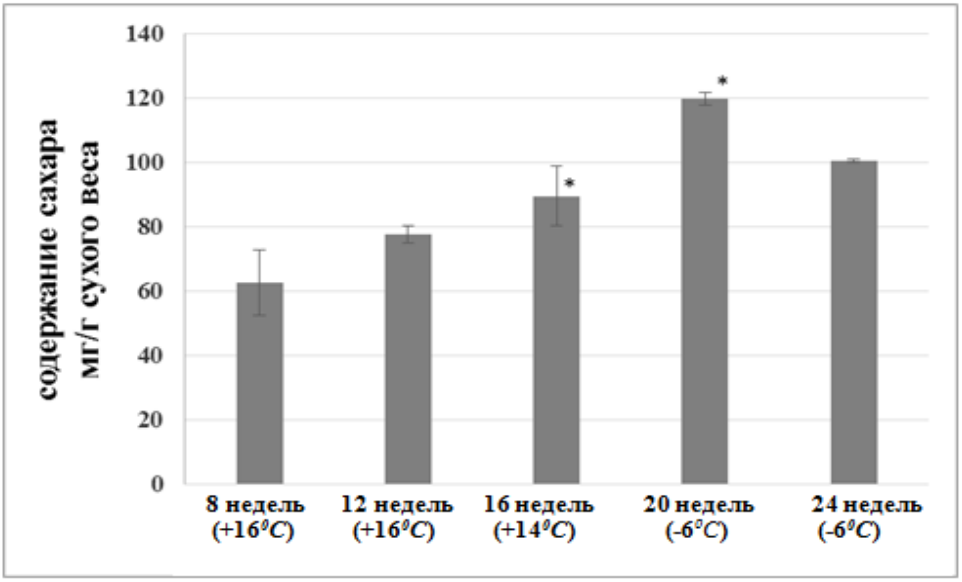

Рис. 5. Содержание сахара в растениях
Brassica oleracea var. Sabellica в онтогенезе

Капуста кейл, в отличие от других представителей семейства *Brassica*, богата белком, содержащим в своем составе высокое количество незаменимых аминокислот, что делает полезным данный овощ для людей, не употребляющих животные белки [1].

Наши исследования показали, что в капусте кейл содержится довольно много белков. Как видно из рис. 6, содержание белка было самым высоким через 12 недель после посадки при температуре +16^0C. Eryilmaz. et al. (2011) также было показано, что в ходе онтогенеза *Brassica oleracea var.Sabellica* содержание белков было выше в молодых растениях [18].

Таким образом, проведенные исследования показали, что *Brassica oleracea var. Sabellica,* выращенная в условиях России, характеризуется высоким содержанием соединений, полезных для здоровья. Содержание фенольных соединений, витамина С и сахаров было самым высоким через 20 недель после посадки при температуре -6°С, в то время как количество каротиноидов и белка достигло самого высокого значения на более ранних стадиях развития капусты кейл: через 12 недель при температуре +16°С. Отрицательные температуры увеличивают содержание фенольных соединений и витамина

С, а также растворимых сахаров, тем самым улучшая вкусовые качества капусты. Содержание этих соединений очень значительно возросло после воздействия температурного стресса (20 недель), однако в адаптированных растениях (24 недели) их содержание уменьшалось. Полученные данные позволяют рекомендовать поздние сроки сбора урожая после первых заморозков для получения наиболее ценного сырья капусты кейл.

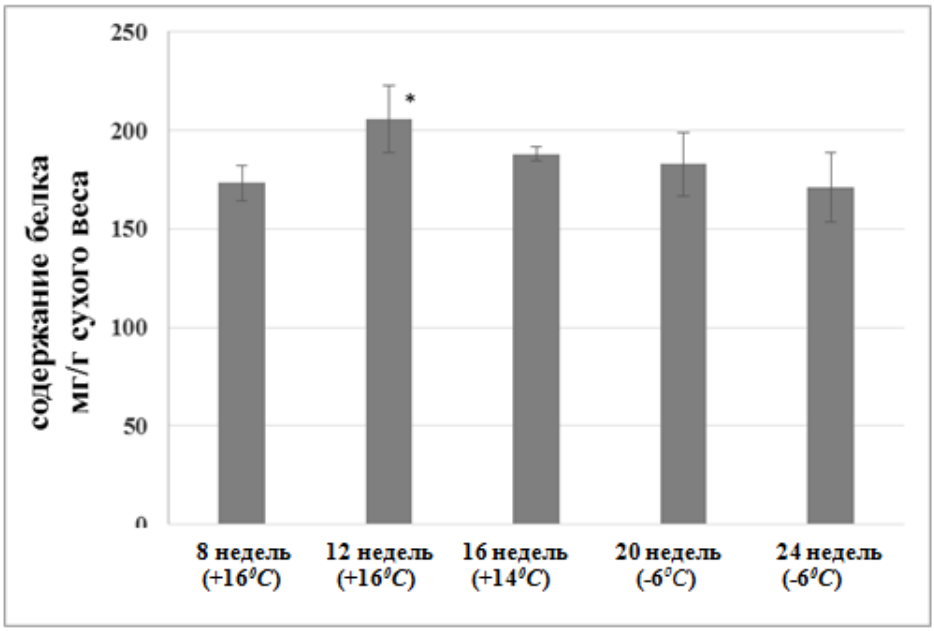

Рис. 6. Содержание белка в растениях
Brassica oleracea var. Sabellica в онтогенезе

Благодарности

Работа была выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список использованных источников

1- 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.

2- 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.

3- 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.

4- Соколовский В.В., Лебедева Л.В., Лиэлуп Т.Б. О методе раздельного определения АК, ДАК и дикетогулоновой кислот (ДКГК) в биологических тканях // Лабораторное дело. – 1974, № 3. – С. 57-63.

5- Тимофеева О.А. Практикум по физиологии и биохимии растений: метод. Руководство. – Казанский университет. – 1998. – 24 с.

6- 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.

7- Воробьев В.Н., Невмержицкая Ю.Ю., Хуснетдинова Л.З., Якушенкова Т.П. Практикум по физиологии растений: учебно-методическое пособие: Казанский университет. – 2013. – 80 с.

8- 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.

9- Ayaz F.A., Hayırlıoglu-Ayaz S., Alpay-Karaoglu S., Gru´z J., Valentova´ K., Ulrichova´ J., Strnad M. Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleraceae L. var. acephala DC.*) extracts and their antioxidant and antibacterial activities // Food Chemistry. – 2007, № 107. – P. 19-25.

10- Sousa C., Lopes G., Pereira D., Taveira M., Valentao P., Seabra R., Pereira J., Baptista P., Ferreres F., Andrade P. Screening of Antioxidant Compounds During Sprouting of *Brassica oleracea L. var. costata* // Chem. High Throughput Screen. – 2007, № 10. – P. 377-386.

11- Šamec D., Piljac-Žegarac J., Bogovi´c,M., Habjaniˇc K., Grúz J. Antioxidant potency of white (*Brassica oleracea L var. capitata*) and Chinese (*Brassica rapa L var. pekensis (Lour*)) cabbage: The influence of development stage, cultivar choice and seed selection // Sci. Hort. –2011, № 128. – P. 78-83.

12- Pandjaitan N., Howard L.R., Morelock T., Gil M. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and maturation // Agric. Food Chem – 2005, № 3. – P. 8618-8623.

13- Макаренко О.А,, Левицкий А.П. Физиологические функции флавоноидов в растениях // Физиология и биохимия культурных растений. – 2013, № 2. – С. 100-112.

14- Sharma N, Cram D, Huebert T, Zhou N, Parkin IA. Exploiting the wild crucifer *Thlaspi arvense* to identify conserved and novel genes expressed during a plant's response to cold stress // Plant Mol Biol. – 2007, № 63. – P. 171-184.

15- Crifo T, Puglisi I, Petrone G, Recupero GR, Lo Piero AR. Expression analysis in response to low temperature stress in blood oranges: implication of the flavonoid biosynthetic pathway // Gene. – 2011, № 478. – P. 1-9.

16- 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.

17- Becerra-Moreno A P.A, Alanís-Garza J.L, Mora-Nieves J.P, Mora M, Jacobo-Velázquez D.A. Kale: An excellent source of vitamin C, pro-vitamin A, lutein and glucosinolates. *CyTA* // Journal of Food. – 2013, № 12. – P. 298-303. doi: 10.1080/19476337.2013.850743.

18- Eryilmaz Acikgoz F. Mineral, Vitamin C and crude protein contents in Kale (*Brassica*

Oleraceae Var. Acephala) at different harvesting stages // African Journal of Biotechnology. – 2011, №. 10. – P. 17170-17174.

19- Schonhof I., Klaring H.P., Krumbein A., Clauen W., Schreiner M. Effect of temperature increase under low radiation conditions on phytochemicals and ascorbic acid in greenhouse grown broccoli I // Agr. Ecosyst. Environ. – 2007, №. 119. – P. 103-111.

20- Byers T., Perry G. Dietary carotenes, Vit C and Vit E as protective antioxidants in human cancers // Ann Rev. Nutr. – 1992, №12. – P.139-159.

21- Овчаров К.Е. Витамины Растений. – М.: Колос. – 1969. – 326 с.

22- Welling A., Palva E.T. Molecular control of cold acclimation in trees // Physiol Plant. – 2006, №. 127. – P. 167-181.

23- Sasaki H., Ichimura K., Oda M. Changes in sugar content during cold acclimation and deacclimation of cabbage seedlings // Ann Bot. – 1996, №.78. – P. 365-369.

==========

Цитирование:

Алмуграби Е., Калимуллин М.И., Мостякова А.А., Тимофеева О.А. Фитохимический состав Brassica oleracea var. Sabellica в онтогенезе // АгроЭкоИнфо. – 2020, №1. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_115.pdf.