

## Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-96-104>  
УДК 635.33:631.547.1:581.19

О.В. Ушакова, А.В. Молчанова,  
Л.Л. Бондарева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская обл., Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14. [ems.vniissok@mail.ru](mailto:ems.vniissok@mail.ru), [vovka\\_ks@rambler.ru](mailto:vovka_ks@rambler.ru), [Lyda\\_bondareva@mail.ru](mailto:Lyda_bondareva@mail.ru)

**Благодарности:** Авторы выражают глубокую признательность Н.А. Голубкиной за ценные советы и замечания при обсуждении рукописи, Е.Г. Ефимовой за помощь в ее выполнении и А.П. Лебедеву за фотографии материала исследований.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** О.В. Ушакова и А.В. Молчанова провели исследование, получили и проанализировали полученные результаты. Л.Л. Бондарева предоставила селекционный материал для исследования и оказывала консультационную помощь. Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи, рассмотрели и одобрили это заключение.

**Для цитирования:** Ушакова О.В., Молчанова А.В., Бондарева Л.Л. Содержание биологически активных веществ в проростках капусты рода *Brassica* L. *Овощи России*. 2021;(1):96-104. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-96-104>

**Поступила в редакцию:** 24.12.2020  
**Принята к печати:** 26.01.2021  
**Опубликована:** 25.02.2021

Olga V. Ushakova, Anna V. Molchanova,  
Lyudmila L. Bondareva

Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" (FSBSI FSVC) 14, Selectionnaya str., VNISSOK, Odintsov district, Moscow region, Russia, 143072 [ems.vniissok@mail.ru](mailto:ems.vniissok@mail.ru), [vovka\\_ks@rambler.ru](mailto:vovka_ks@rambler.ru), [Lyda\\_bondareva@mail.ru](mailto:Lyda_bondareva@mail.ru)

**Acknowledgment.** The authors are deeply grateful to N.A. Golubkina for valuable advice and comments when writing the article, E.G. Efimova for help in its implementation and A.P. Lebedev for photographs of the research material.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Authors' Contribution:** Olga V. Ushakova – conceived the experiment, Olga V. Ushakova and Anna V. Molchanova performed the research, did the data management and analyzed the data. Lyudmila L. Bondareva provided breeding material for the study and consulting assistance. All authors contributed equally to the writing of the article. All authors reviewed and approved this submission.

**For citations:** Ushakova O.V., Molchanova A.V., Bondareva L.L. Content of biologically active substances in seedlings of cabbage of the genus *Brassica* L. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(1):96-104. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-96-104>

**Received:** 24.12.2020  
**Accepted for publication:** 26.01.2021  
**Accepted:** 25.02.2021

# Содержание биологически активных веществ в проростках капусты рода *Brassica* L.



## Резюме

**Актуальность.** В настоящее время исследователи активно изучают проростки овощных культур, особенности их роста и развития, пищевую ценность. Фотосинтезирующие проростки, как модельный объект, интересен как при изучении пищевой ценности, так и видовой реакции растительного организма при культивировании. В связи с этим, комплексное изучение биологически активных соединений в проростках капустных культур, является актуальным.

**Материал и методика.** Исследование проводили на базе лабораторно-аналитического отдела ФГБНУ «Федерального научного центра овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО). Материалом исследований являлись проростки капусты китайской (*Brassica chinensis* L.) – сорт Веснянка, капусты брокколи (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) – сорт Тонус, капусты декоративной (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* DC.) – сорт Малиновка, капусты кольраби (*Brassica oleracea* var. *gongyolodes* L.) – гибрид F<sub>1</sub> Соната и сорт Венская белая 1350, капусты краснокочанной (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* (L.) Alef. var. *capitata* L. f. *rubra* (L.) Thell.) – сорт Гако 741. Семена урожая 2018 года проращивали в кассетах на фильтровальной бумаге, используя дистиллированную воду. Кассеты с семенами помещали в термостат, при постоянном освещении и температуре 25°C. Проращивали в течение 8 суток, после чего проводили биохимический анализ исследуемых образцов.

**Результаты.** Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в исследованных проростках капустных культур находилось в пределах концентраций от 3,58-4,57 мг-экв ГК/г (сырой массы). По этому показателю у 8-суточных проростков максимальными значениями выделялась капуста краснокочанная. Суммарное содержание антиоксидантов в спиртовом экстракте составило от 21,24 до 28,23 мг-экв ГК/г (сухой массы), содержание полифенолов – в пределах 16,39-24,94 мг-экв ГК/г (сухой массы). В результате исследований выявлены прямые корреляционные взаимосвязи изученных признаков: высокая – между содержанием водорастворимых антиоксидантов и сухого вещества ( $r=0,72...0,98$ ) и между содержанием каротиноидов и хлорофиллов ( $r=0,98...0,99$ ).

**Ключевые слова:** проростки, капустные культуры, биологически активные соединения, антиоксиданты, полифенолы, фотосинтетические пигменты

# Content of biologically active substances in seedlings of cabbage of the genus *Brassica* L.

## Abstract

**Relevance.** Photosynthetic seedlings, as a model object, are interesting both in the study of nutritional value and the species response of a plant organism to the cultivation.

**Material and methods.** The study was carried out on the basis of the laboratory analytical department of the FSBSI FSVC. The material of the research was sprouts of *Brassica chinensis* L., cv. Vesnyanka; *Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck, cv. Tonus; *Brassica oleracea* L. convar. *acephala* DC., cv. Malinovka; *Brassica oleracea* var. *gongyolodes* L., hybrid F<sub>1</sub> Sonata and cv. Venskaya Belaya 1350; *Brassica oleracea* L. convar. *capitata* (L.) Alef. var. *capitata* L. f. *rubra* (L.) Thell., cv. Gako 741. The seeds of the 2018 harvest were germinated in filter paper cassettes using distilled water. The cassettes with seeds were placed in a thermostat under constant illumination and a temperature of 25°C. They have been germinated for 8 days, after which a biochemical analysis of the samples was carried out.

**Results.** It was found out that the total content of water-soluble antioxidants in the studied of cabbage crops was in the range of concentrations from 3.58-4.57 mg-eq HA/g (wet weight). According to this indicator of 8-day-old seedlings, red cabbage variety Gako 741 was distinguished by the maximum values. The total content of antioxidants in the alcoholic extract ranged from 21.24 to 28.23 mg-eq HA/g (dry weight). The content of polyphenols – in the concentration range of 16.39-24.94 mg-eq of HA/g (dry weight). As a result of the research, direct correlations of the studied characteristics were revealed. A high correlation was shown between the content of water-soluble antioxidants and dry matter ( $r=0.72...0.98$ ) and between the content of carotenoids and chlorophylls ( $r=0.98...0.99$ ).

**Keywords:** seedlings, cabbage crops, biologically active compounds, antioxidants, polyphenols, photosynthetic pigments

## Введение

Одним из популярных направлений в области здорового питания является применение пророщенных семян различных сельскохозяйственных и дикорастущих культур. Среди них проростки капустных культур семейства *Brassica* L. выделяются высоким содержанием глюкозинолатов (GLSs) и фенольных соединений [1, 2, 3]. Проростки – это продукция, фаза молодого растения, растущего на каком-либо субстрате, имеющего развитый гипокотиль, развернутые зеленые семядоли, у ряда культур – зачатки первичных листьев или их наличие [4].

Широко распространено любительское производство проростков (выращивание в домашних условиях) и мелкое промышленное производство. Кроме того, высок интерес к их использованию в различных отраслях промышленности – для витаминизации блюд и расширения ассортимента выпускаемой продукции [5,6]. Как правило, для получения проростков используют семена зерновых и овощных растений. Съедобные ростки в возрасте нескольких дней богаты питательными веществами и другими биологически активными соединениями, так как в процессе прорастания синтезируются витамины и другие биологически активные соединения, накапливается энергия для развития растения. Обычно проростки едят в сыром виде и практически не хранят, что позволяет употреблять их с максимальной пользой [7]. Более того, минеральные вещества в проростках хелатированы, т.е. находятся в естественном состоянии – связаны с аминокислотами и потому хорошо усваиваются организмом человека [8].

В течение последних десятилетий был изучен и охарактеризован широкий спектр растений и их проростков, которые могут оказать воздействие на здоровье человека в зависимости от их питательной ценности и биоактивного состава, условий выращивания. Например, исследовано влияние излучения UV-A LEDs на питательную ценность проростков горчицы, кольраби, брокколи, капусты японской [9,10]. При исследовании накопления водорастворимых антиоксидантов у проростков двух сортов амаранта было установлено, что ранний период онтогенеза характеризуется активным их синтезом [11]. Сравнение показателей антиоксидантной активности проростков семян лука репчатого и многолетних луков с аналогичными данными для взрослых растений [12] показало, что содержание полифенолов и уровень антиоксидантной активности (АОА) в среднем в 3-5 раз выше у проростков семян луковых культур. Исследования проростков показали, что проростки семян многолетних луков и лука репчатого мало различаются по содержанию полифенолов и антиоксидантной активности [13]. На примере семян и проростков рукколы (*Eruca sativa* Mill.) [14] обсуждается механизм и актуальность исследований антиоксидантной активности глюкоэруцина и эруцина, вторичных метаболитов, содержащихся в данной зеленой культуре.

Одним из направлений исследований пищевой ценности является изучение динамики накопления питательных веществ в процессе прорастания. Так, в работе польских учёных на примере проростков чечевицы (*Lens culinaris* Medik.) и маша (*Vigna radiata* L.) R. Wilczek), целью которой являлась выявление оптимального срока их употребления в пищу, показано, что анти-

оксидантная активность, измеренная разными методами, максимальна на шестой день их выращивания [15]. Согласно данным [16], полученным на проростках семейства *Cruciferae*, максимальная антиоксидантная активность (на сырую массу) была у экстрактов из проростков капусты краснокочанной и горчицы белой в первый день прорастания.

Исследования, проведённые на проростках 4 видов капустных культур (брокколи (*Brassica oleraceae* L. var. *italica* Plenck), редиса (*Raphanus sativus* L.), красной горчицы (*Brassica juncea* (L.) Czern), кудрявой капусты (*Brassica oleraceae* var. *sabellica* L.)), выращенных на гидропонике, выявляют различия в биодоступности биологически активных веществ при моделировании стандартизированного процесса пищеварения в желудочно-кишечном тракте. Исследователями показано, что все проростки обеспечивали достаточное количество аскорбиновой кислоты (31-56 мг/100 г сырой массы) и суммы каротиноидов (162-224 мг β-каротина/100 г сухой массы). Тем не менее, проростки редиса и красной горчицы содержали наибольшее количество биодоступных изученных компонентов [17].

Активно изучаются проростки растений семейства *Brassicaceae* в связи с их высокой антиканцерогенностью [18, 19]. Особенно пристальное внимание уделено проросткам капусты брокколи, в которых было определено содержание глюкозинолатов и изотиоцианатов при разных условиях выращивания [20, 21].

Ранее исследованные нами проростки 11 сортов гороха овощного содержали каротиноиды в среднем 0,38 мг/г, водорастворимые антиоксиданты – 6,27 мг-экв ГК/г [22].

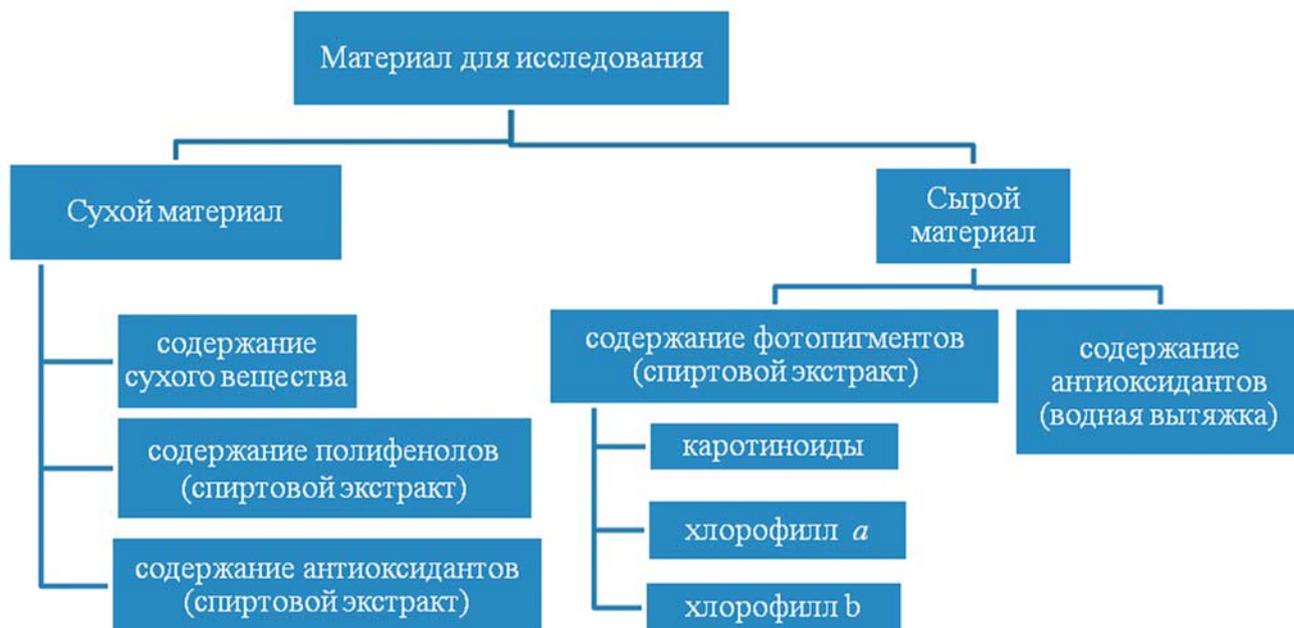
Целью наших исследований было определение биохимических параметров: содержание сухого вещества, суммарное содержание антиоксидантов в водном и спиртовом экстрактах, полифенолов и фотосинтетических пигментов в проростках капусты.

## Материалы и методы

Исследование проводили на базе лабораторно-аналитического отдела ФГБНУ ФНЦО.

**Материал исследований.** Проростки, выращенные из семян капустных культур рабочей коллекции лаборатории селекции и семеноводства капустных культур ФГБНУ ФНЦО: капусты китайской (*Brassica chinensis* L.) – сорт Веснянка, капусты брокколи (*Brassica oleraceae* L. var. *italica* Plenck) – сорт Тонус, капусты декоративной (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* DC.) – сорт Малиновка, капусты кольраби (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* L.) – гибрид F<sub>1</sub> Соната и сорт Венская белая 1350, капусты краснокочанной (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* (L.) Alef. var. *capitata* L. f. *rubra* (L.) Thell.) – сорт Гако 741.

**Методика опыта.** Семена урожая 2018 года проверяли на пригодность к использованию для проращивания [23]. Проращивали в пластиковых кассетах на фильтровальной бумаге, используя дистиллированную воду, и помещали в термостат для роста растений GC-300TLH (Корея) при средней влажности воздуха 50%, при постоянном освещении и температуре 25°C, проращивали с регулярным увлажнением в течение 8 суток. Затем отделяли от семенных оболочек – ростки срезали у основания. Полученные проростки оценивали на



**Рис. 1. Схема проведения анализов**  
**Fig. 1. Scheme of the analysis**

содержание исследуемых параметров. Общая схема проведения биохимических исследований представлена на рисунке 1

Для определения уровня накопления полифенолов использовали колориметрический метод Фолина-Чиокалтеу [24] на спектрофотометре Unicо 2804 UV (США). Содержание полифенолов рассчитывали по калибровочной кривой, построенной по пяти концентрациям галловой кислоты (0–90 мкг/мл) в мг-эквивалентах галловой кислоты на 1 г сухой массы (мг-экв ГК/г с.м.).

Определение суммарного содержания антиоксидантов в водном и спиртовом экстрактах устанавливали по методу [25] титрованием 0.01 N раствора  $KMnO_4$  водным (сырой материал) и этанольным (сухой материал) экстрактами образцов проростков. Восстановление  $KMnO_4$  до бесцветного  $Mn^{+2}$  в этой реакции отражает количество антиоксидантов, растворенных в 70 % этаноле и дистиллированной воде. Результаты выражали в мг-эквивалентах галловой кислоты/г с.м. [24]. В качестве стандарта использовали галловую кислоту [26].

Для определения содержания хлорофиллов *a* и *b*, а также суммы каротиноидов брали навески каждого образца, экстрагировали 96% этанолом и результат

вычисляли на спектрофотометре с использованием методики Lichtenthaler et al. (1987) [27].

Содержание сухого вещества устанавливали методом высушивания навески до постоянного веса при температуре 70°C в течение 72 часов [28].

При проведении исследований отбирали среднюю пробу материала в четырехкратной повторности. Математическую и статистическую обработку результатов осуществляли с помощью пакета электронных таблиц MS Excel и мультиплетного теста Дункана.

### Результаты и обсуждение

Проростки сельскохозяйственных культур активно используют в технологиях получения функциональных ингредиентов в пищевой промышленности. При этом достоверная оценка качества семян, используемых для получения проростков, имеет большое значение. Если значения всхожести низкие (по ГОСТ), то такие семена нежелательно использовать для проращивания, так как возникнет необходимость в увеличении нормы расхода исходного сырья. Также возрастает нежелательный риск дополнительной, за счет невсхожих семян, контаминации проростков вредными микроорганизмами. Семена других культур, в том числе и овощных, исполь-

**Таблица 1. Всхожесть семян капусты, %**  
**Table 1. Seed germination of cabbage, %**

Вариант	Всхожесть, %	Cv, %
Капуста китайская, сорт Веснянка	95±5a	5,3
Капуста брокколи, сорт Тонус	85±6b	7,1
Капуста декоративная, сорт Малиновка	87±0,5a	0,6
Капуста кольраби, гибрид F1 Соната	91±1a	1,1
Капуста кольраби, сорт Венская белая 1350	93±1a	1,1
Капуста краснокочанная, сорт Гако 741	86±0,5a	0,6

Таблица 2. Содержание сухого вещества в проростках капусты, %  
Table 2. Content of dry matter in seedlings of different of cabbage, %

Вариант	Сухое вещество, %	Cv, %
Капуста китайская, сорт Веснянка	7,18±0,24a	3,4
Капуста брокколи, сорт Тонус	8,38±0,54b	6,5
Капуста декоративная, сорт Малиновка	6,84±0,17c	2,5
Капуста кольраби, гибрид F <sub>1</sub> Соната	5,27±0,59d	11,7
Капуста кольраби, сорт Венская белая 1350	8,19±0,56b	6,9
Капуста краснокочанная, сорт Гако 741	9,41±0,49e	5,2
<i>M±SD</i>	7,54±0,59	7,9

зубые для проращивания, также должны иметь высокую всхожесть. Показатели качества используемых в эксперименте семян приведены в таблице 1.

Анализ всхожести семян показал, что они обладали достаточно высокими показателями всхожести для использования их при получении проростков. Значения в основном относились к семенам 1 класса.

Биохимические исследования проводят как на сыром материале, так и на сухом, с определенным значением показателя сухого вещества, выраженном в процентах. Известно, что содержание сухого вещества в листовой массе зеленых растений определяет способность их к накоплению питательных элементов, например, калия [29], с одной стороны, с другой – растения с минимальным содержанием сухого вещества обладают более нежной текстурой. В наших исследованиях проростки капусты краснокочанной сорта Гако 741 отличались наибольшим значением сухого вещества – 9,41%. (табл. 2). Наименьшее значение этого показателя было отмечено у проростков гибрида капусты кольраби F<sub>1</sub> Соната – 5,27%.

#### Исследования на сыром материале

Одним из параметров, определяющих защитное биологическое действие на организм человека, является измерение общей антиоксидантной активности

исследуемых растений [24].

Сравнение показателей содержания водорастворимых антиоксидантов у исследуемых сортов показало, что максимальное содержание водорастворимых антиоксидантов характерно для проростков капусты краснокочанной (сорт Гако 741) и составляет 4,57 мг-экв ГК/г сырой массы, а минимальное – для капусты кольраби (гибрид F<sub>1</sub> Соната) и капусты китайской (сорт Веснянка) – 3,58 мг-экв ГК/г сырой массы и 3,59 мг-экв ГК/г сырой массы, соответственно. Остальные же разновидности капусты имели близкое по значению содержание АО – в интервале от 3,83 до 4,06 мг-экв ГК/г сырой массы (табл. 3). При этом вариабельность содержания антиоксидантов в проростках была низкой, за исключением капусты китайской, коэффициент вариации которой составил 19%, что, в свою очередь, свидетельствует о нестабильности этого показателя для проростков капусты китайской.

По сравнению с проростками гороха овощного, у которого суммарное содержание антиоксидантов в 8-суточных проростках колеблется от 1,73 до 2,00 мг-экв ГК/г сырой массы, а содержание сухого вещества – 6,60-7,33% [30, 31], у проростков капустных культур суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов отмечено в пределах 3,58-4,57 мг-экв ГК/г сырой массы. Показатели содержания сухого вещества

Таблица 3. Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в проростках разных видов капусты (мг-экв ГК/г сырой массы)  
Table 3. The total content of water-soluble antioxidants in seedlings of different types of cabbage (mg-eq HA / g wet weight)

Вариант	Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов	Cv, %
Капуста китайская, сорт Веснянка	3,59±0,68a	19,3
Капуста брокколи, сорт Тонус	4,06±0,28ab	6,9
Капуста декоративная, сорт Малиновка	4,18±0,13ab	3,2
Капуста кольраби, гибрид F <sub>1</sub> Соната	3,58±0,05a	1,4
Капуста кольраби, сорт Венская белая 1350	3,83±0,01a	0,3
Капуста краснокочанная, сорт Гако 741	4,57±0,19ab	4,2
<i>M±SD</i>	3,97±0,16	4,1

Значения в столбцах с одинаковыми индексами не различаются статистически  $p > 0,05$  (мультиплетный тест Дункана)  
Values with the same indices are not statistically different according to the Duncan test at  $P > 0.05$

Таблица 4. Фотосинтетические пигменты в проростках капусты (мг/г сырой массы)  
Table 4. Photosynthetic pigments in seedlings of cabbage (mg/g wet weight)

Вариант	Хлорофилл а	Хлорофилл b	Каротиноиды
Капуста китайская, сорт Веснянка	0,48±0,12a	0,30±0,05a	0,09±0,02a
Cv, %	25,00	16,70	22,30
Капуста брокколи, сорт Тонус	0,95±0,03b	0,61±0,01b	0,17±0,01b
Cv, %	31,60	1,70	5,90
Капуста декоративная, сорт Малиновка	0,89±0,23bd	0,57±0,15b	0,17±0,05b
Cv, %	25,90	26,40	29,50
Капуста кольраби, гибрид F1 Соната	0,87±0,07bd	0,57±0,04b	0,16±0,01b
Cv, %	8,10	7,10	6,30
Капуста кольраби, сорт Венская белая 1350	1,25±0,07c	0,84±0,05c	0,26±0,02c
Cv, %	5,60	6,00	7,70
Капуста краснокочанная, сорт Гако 741	0,78±0,05db	0,52±0,04b	0,15±0,01b
Cv, %	6,50	7,70	6,70
M±SD	0,87±0,1	0,57±0,07	0,17±0,02
Cv, %	11,5	12,3	11,8

Значения в столбцах с одинаковыми индексами не различаются статистически  $p > 0,05$  (мультиплетный тест Дункана)  
Values with the same indices are not statistically different according to the Duncan test at  $P > 0.05$

варьируют от 5,27 до 9,41%. То есть проростки капусты при сравнительно одинаковом содержании сухого вещества на 8 сутки прорастания накапливали водорастворимых антиоксидантов практически в 2 раза больше, чем проростки гороха.

Определение содержания витаминов и каротиноидов в пищевых проростках является необходимым показателем их качества. Например, в работе Xiao Z. и др. (2012) показано, что наибольшее количество аскорбиновой кислоты, каротиноидов, филлохинона и токоферолов было отмечено в проростках капусты краснокочанной, кориандра, краснолистного амаранта и дайкона [32].

Фотосинтетические пигменты являются активными антиоксидантами [33]. При определении содержания фотосинтетических пигментов в проростках капусты было выявлено, что наибольшее содержание хлорофилла а и b и каротиноидов отмечено в проростках капусты кольраби сорта Венская белая 1350, а минимальное – в проростках капусты китайской сорта Веснянка (табл. 4). В проростках остальных разновидностей капусты содержание фотопигментов было близким по значению. Возможно, это связано с различиями в формировании фотосинтетической системы у разных разновидностей капусты на начальном этапе развития.

Необходимо отметить, что по коэффициенту вариации проростки капусты разделились на две группы: с невысоким значением коэффициента Cv (капуста краснокочанная, капуста кольраби (сорт Венская белая 1350 и гибрид F<sub>1</sub> Соната) и

высоким – Cv >20% (капуста китайская, брокколи и капуста декоративная) (табл. 4).

#### Исследования на сухом материале

Среди вторичных метаболитов полифенолы являются важнейшими антиоксидантами в связи с их протекторной функцией, которую они проявляют вместе с другими природными антиоксидантами (эффект синергизма) [34]. Поэтому определение содержания полифенолов в проростках капусты является существенным аспектом исследования. Согласно данным исследования, этот параметр у всех проростков был относительно одинаков. Суммарное содержание антиоксидантов в спиртовом экстракте проростков капусты составило от 21,24 до 28,23 (мг-экв ГК/г сухого вещества) (рис. 2).

Выявленная корреляционная взаимосвязь между содержанием полифенолов и антиоксидантов была

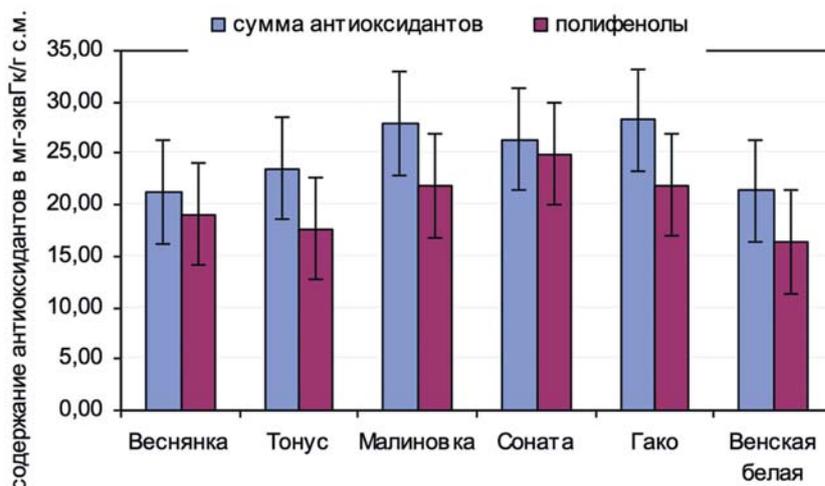
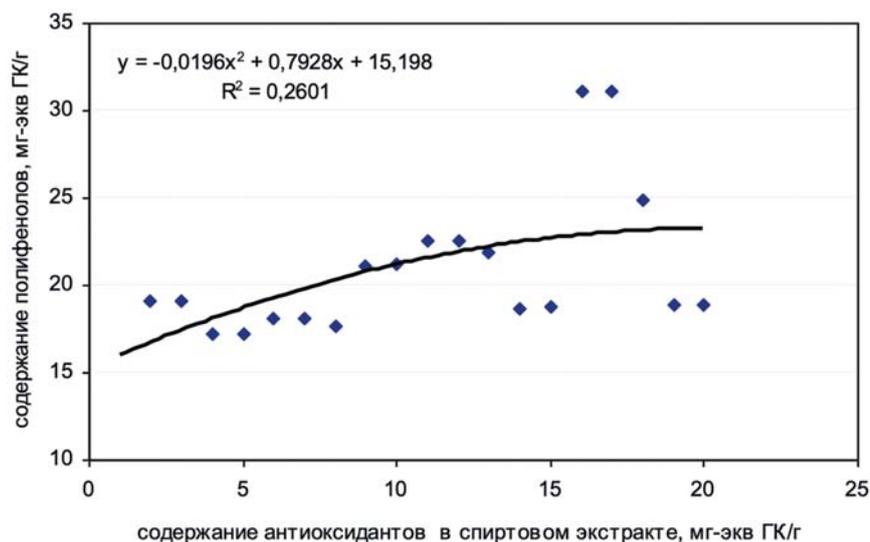
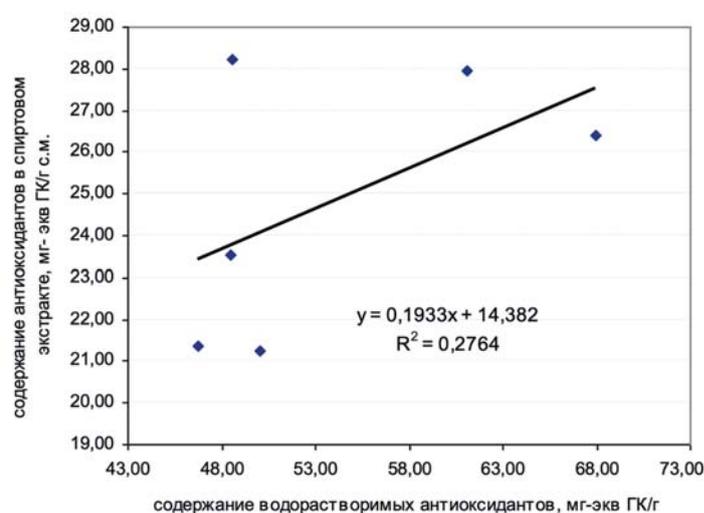


Рис. 2. Содержание полифенолов и антиоксидантов (мг-экв Гк/г сухого вещества) в проростках капусты  
Fig. 2. Content of polyphenols and antioxidants (mg-eq HA / g dry matter) in seedlings of cabbage varieties



**Рис. 3. Корреляционная взаимосвязь между содержанием полифенолов и антиоксидантов в проростках капусты ( $r=0,51$ ).**  
**Fig. 3. Correlation relationship between the content of polyphenols and antioxidants in cabbage seedlings ( $r = 0.51$ ).**



**Рис. 4. Корреляционная взаимосвязь между суммарным содержанием антиоксидантов в водном и спиртовом экстрактах в проростках капусты. Представлен коэффициент корреляции по среднему значению ( $r=0,53$ ).**  
**Fig. 4. Correlation relationship between the total content of water-soluble and alcohol-soluble antioxidants in cabbage seedlings. The correlation coefficient for the mean value ( $r = 0.53$ ) is presented**

**Таблица 5. Корреляционная зависимость между биохимическими параметрами**  
**Table 5. Correlation dependence between biochemical parameters**

	Сухое вещество	АО (спирт)	АО (вода)	Полифенолы	Хлорофилл а	Хлорофилл b	Каротиноиды
Сухое вещество	1						
АО (спирт)	-0,13	1					
АО (вода)	0,72*	0,20	1				
Полифенолы	-0,56	0,13	0,04	1			
Хлорофилл а	0,15	0,86**	0,10	-0,34	1		
Хлорофилл b	0,18	0,85**	0,12	-0,33	1,00	1	
Каротиноиды	0,21	0,78***	0,09	-0,40	0,98****	0,99****	1

\* $P < 0,05$ ; \*\* $P < 0,006$ ; \*\*\* $P < 0,03$ ; \*\*\*\* $P < 0,001$

Пересчет содержания веществ на 100 г сырого материала

средней ( $r=0,51$ ) (рис. 3). Увеличение содержания водорастворимых антиоксидантов в исследуемых образцах приводит к увеличению количества спирторастворимых антиоксидантов (рис. 4).

Проведённый корреляционный анализ данных биохимических показателей проростков капусты выявил отрицательную взаимосвязь между содержанием сухого вещества и полифенолов. Была подтверждена высокая положительная корреляционная зависимость между показателями «сухое вещество» и «АО вода» ( $r=0,72$ ,  $P < 0,05$ ) и «каротиноиды» и «хлорофилл а, b» ( $r=0,98 \dots 0,99$ ,  $P < 0,001$ ). Кроме того, показана высокая прямая корреляционная зависимость между содержанием спирторастворимых антиоксидантов и содержанием фотосинтетических пигментов. Предположительно это объясняется тем фактом, что в ходе анализа при обработке 70% этанолом проростков экстрагируются в раствор и хлорофиллы, и каротиноиды, которые при определении фотосинтетических пигментов выделяли 96% спиртом ( $r=0,78 \dots 0,86$ ) (табл. 5).

При определении питательной ценности проростков в пересчёте на 100 г навески, было выявлено, что по содержанию водорастворимых антиоксидантов максимум был отмечен в проростках капусты краснокочанной (457,0 мг/100 г), а по количеству фотосинтетических пигментов выделилась капуста кольраби (сорт Венская белая 1350) (табл. 6).

Таблица 6. Содержание биологически активных веществ в проростках капусты (в пересчёте на 100 г навески)  
Table 6. Content of biologically active substances in seedlings of cabbage (in terms of 100 g of sample)

Варианты	Данные на 100 г сырой массы проростков			
	водорастворимые антиоксиданты	хлорофилл а	хлорофилл b	каротиноиды
Капуста китайская, сорт Веснянка	359,0a	48a	30a	9a
Капуста брокколи, сорт Тонус	406,0a	94,5b	60,5b	16,5b
Капуста декоративная, сорт Малиновка	418,0a	89b	57b	16,5b
Капуста кольраби, гибрид F1 Соната	358,0b	86,5b	56,5b	15,5b
Капуста кольраби, сорт Венская белая 1350	383,0a	125c	83,5c	26c
Капуста краснокочанная, сорт Гако 741	457,0c	77,5bd	52b	15b

Значения в столбцах с одинаковыми индексами не различаются статистически  $p > 0,05$  (мультиплетный тест Дункана)  
Values with the same indices are not statistically different according to the Duncan test at  $P > 0.05$

**Заключение**

При использовании семян в качестве материала для получения проростков необходимо использовать семена с высокой всхожестью. Так, при прорастании качественных семян будет происходить достаточная активизация ферментного комплекса и быстрее начинается процесс прорастания, что позволит в дальнейшем получать продукты с высокой пищевой и биологической ценностью.

Проростки капусты декоративной – сорт Малиновка, капусты кольраби – гибрид F1 Соната и капусты красно-

кочанной – сорт Гако741 отличались наибольшими показателями полифенолов и суммы антиоксидантов, по сравнению с проростками других капустных культур.

Коэффициент вариации по накоплению водорастворимых антиоксидантов у капустных проростков в основном превышал  $Cv > 30\%$ . Возможно, это связано с формированием фотосинтетической системы на начальном этапе развития растения.

В результате исследований были выявлены прямые корреляционные взаимосвязи между биохимическими параметрами.



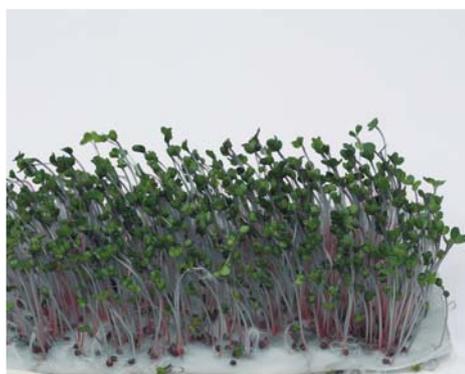
8-суточные проростки капусты кольраби сорта Венская белая  
8-day old seedlings cabbage kohlrabi cv. Venskaya Belaya



8-суточные проростки капусты китайской сорта Веснянка  
8-day old seedlings of chinese cabbage cv. Vesnianka



8-суточные проростки капусты краснокочанной сорта Гако  
8-day old seedlings of red cabbage cv. Gako



8-суточные проростки капусты кольраби гибрид F1 Соната  
8-day old seedlings cabbage kohlrabi hybrid F1 Sonata



8-суточные проростки капусты декоративной сорта Малиновка  
8-day old seedlings ornamental cabbage cv. Malinovka



8-суточные проростки капусты брокколи сорта Тонус  
8-day old seedlings of broccoli cv. Tonus

**Об авторах:**

**Ольга Владимировна Ушакова** – кандидат с.-х.н., старший научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, <http://orcid.org/0000-0001-5239-7677>, [ems.vniissok@mail.ru](mailto:ems.vniissok@mail.ru)

**Анна Владимировна Молчанова** – кандидат с.-х. н., старший научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, <http://orcid.org/0000-0002-7795-7463>, [vovka\\_ks@rambler.ru](mailto:vovka_ks@rambler.ru)

**Людмила Леонидовна Бондарева** – доктор с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства капустных культур, <https://orcid.org/0000-0002-0912-5913>, [Lyda\\_bondareva@mail.ru](mailto:Lyda_bondareva@mail.ru)

**About the authors:**

**Olga V. Ushakova** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of analytical center, <http://orcid.org/0000-0001-5239-7677>, [ems.vniissok@mail.ru](mailto:ems.vniissok@mail.ru)

**Anna V. Molchanova** – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher of analytical center, <http://orcid.org/0000-0002-7795-7463>, [vovka\\_ks@rambler.ru](mailto:vovka_ks@rambler.ru)

**Lyudmila L. Bondareva** – Doc. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of Cole Crop Breeding and Seed Production, <https://orcid.org/0000-0002-0912-5913>, [Lyda\\_bondareva@mail.ru](mailto:Lyda_bondareva@mail.ru)

## • Литература

- Abellán Á.; Domínguez-Perles R.; Moreno D.A.; García-Viguera C. Sorting out the value of cruciferous sprouts as sources of bioactive compounds for nutrition and health. *Nutrients*. 2019;(11):429. DOI: 10.3390/nu11020429.
- Choe U., Yu L.L., Wang T.T.Y. The Science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. *J Agric Food Chem*. 2018;66(44):11519-11530. doi: 10.1021/acs.jafc.8b03096.
- Lenzi A., Orlandini A., Bulgari R., Ferrante A., Bruschi P. Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: a comparison between microgreens and baby greens. *Foods*. 2019;8(10):E487. doi: 10.3390/foods8100487.
- Папонов А.Н., Ширинкин В.Н. Ростки – функциональный овощной продукт. *Гастрош.* 2010;(2):8–9.
- Бережная О.В. Разработка технологии получения проростков зерна пшеницы при производстве хлебопекарной и кулинарной продукции. *Москва*; 2015.
- Конева М.С. Разработка технологии и оценка потребительских свойств смузи, обогащенных продуктами из пророщенного зерна пшеницы. *Москва*; 2017.
- Иванова М.И., Кашлева А.И., Михайлов В.В., Разин О.А. Инновационная специфическая продукция: органические ростки (microgreens) и сеянцы (baby leaves). *Овощи России*. 2016;(1):29-33. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-29-33>.
- Вигмор Э. Проростки – пища жизни. пер. с англ. Е. Смирнова. *СПб ИД «ВЕСЬ»*; 2001.
- Brazaitytė A., Viršilė A., Samuolienė G., Vaštakaitė-Kairienė V., Jankauskienė J., Miliauskienė J., Novičkovas A., Duchovskis P. Response of mustard microgreens to different wavelengths and durations of UV-A LEDs. *Front Plant Sci*. 2019;(10):1153. doi: 10.3389/fpls.2019.01153.
- Samuolienė G., Brazaitytė A., Viršilė A., Miliauskienė J., Vaštakaitė-Kairienė V., Duchovskis P. Nutrient levels in Brassicaceae microgreens increase under tailored light-emitting diode spectra. *Front Plant Sci*. 2019;(10):1475. doi: 10.3389/fpls.2019.01475.
- Молчанова А.В. Сортоспецифичность накопления антиоксидантов различными видами амаранта (*Amaranthus L.*) и повышение качества товарной продукции. *Москва*; 2011.
- Golubkina N.A., Caruso G. Nutritional Composition, Health Benefits and Antioxidant Properties of Onion. *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*. 1st Edition Paperback Academic Press 1st September; 2018. ISBN: 9780128127803.
- Голубкина Н.А., Середин Т.М., Баранова Е.В., Старцева Л.В., Агафонов А.Ф., Ушакова О.В., Ковальский Ю.Г. Перспективы получения проростков семян луковых культур, обогащенных селеном. *Овощи России*. 2018;(6):50-54. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-50-54>.
- Barillari J., Canistro D., Paolini M., Ferroni F., Lori R., Valgimigli L. Direct antioxidant activity of purified glucorucin, the dietary secondary metabolite contained in rocket (*Eruca sativa Mill.*) seeds and sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53(7):2475-2482.
- Zych-Wężyki, Krzepińko A. A comparison of the antioxidant properties of selected edible sprouts of the Legumes family. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Pharmacia*. 2012;25(2):179-181.
- Zych-Wężyki, Krzepińko A. A comparison of the antioxidant properties of selected edible sprouts from the Cruciferae family. Paper presented at: Konferencja naukowa "Nauka I praktyka ogrodnicza dla zdrowia I środowiska" Wrzesień 14-16, 2011. *Lublin*.
- de la Fuente B., López-García G., Mániz V., Alegría A., Barberá R., Cilla A. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens. *Foods*. 2019;8(7):E250. doi: 10.3390/foods8070250.
- Liang H., Yuan Q., Xiao Q. Purification of sulforaphane from Brassicaoleraceae seed meal using pressure column chromatography. *Journal of chromatography*. 2005;(828):91-96.
- Márton M., MándokiZs., Csapó-Kiss Zs., Csapó J. The role of sprouts in human nutrition. A review. *Acta Univ.Sapientiae, Alimentaria*. 2010;(3):81-117.
- Pereira F.M.V., Rosa E., Fahey J.W., Stephenson K.K., Carvalho R., Aires A. Influence of temperature and ontogeny on the levels of glucosinolates in broccoli (*Brassica oleraceae var. Italica*) sprouts and their effect on the induction of mammalian phase 2 enzymes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2002;(50):6239-6244.
- Shapiro T.A., Fahey J. W., Wade K.L., Stephenson K.K., Talalay P. Chemoprotective glucosinolates and isothiocyanates of broccoli sprouts: metabolism and excretion in humans. *Cancer epidemiology Biomarkers and Prevention*. 2001;(10):501-508.
- Ушакова О.В., Молчанова А.В., Котляр И.П., Ушаков В.А., Пронина Е.П., Вершинина Н.П., Солдатенко А.В. Исследование биохимической ценности проростков гороха овощного (*Pisum sativum L.*). 2-й Международный форум «Зернобобовые культуры, развивающиеся направление в России»; 2018; *Омск*.
- ГОСТ 32592-2013 Семена овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты. Сортосовые и посевные качества. Общие технические условия. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200109874>.
- Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надежин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения. *М.: Изд-во ФГБНУ ФНЦО*. 2020.
- Патент РФ на изобретение 2170930 С1/2001. Максимова Т.В., Никулина И.Н., Пахомов В.П., Шкарина Е.И., Чумакова З.В., Арзамасцев А.П. Способ определения антиокислительной активности.
- Мисин В.М., Клименко И.В., Журавлева Т.С. О пригодности галловой кислоты в качестве стандартного образца состава антиоксиданта. *Компетентность*. 2014;7(118):46-51.
- Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*. 1987;(148):350-382.
- Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перианский Ю.А., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимических исследований. *Л.: Агропромиздат*. 1987.
- Molchanova A.V., Kurbakov E.L. Biochemical composition of leaves of salad and leaf crops. Paper presented at: 3-rd International Conference, September 14 -16, 2011; *Lublin, Poland*.
- Ушакова О.В., Молчанова А.В., Ушаков В.А., Котляр И.П. Влияние способа проращивания на биохимический состав проростков гороха овощного (*Pisum sativum L.*). *Доклады ТСХА*. 2019. 500-503 p.
- Шило Л.М., Ушакова О.В., Ушаков В.А., Павлов Л.В., Молчанова А.В. Микрозелень проростков гороха овощного. *Картофель и овощи*. 2019;(8):21-22. DOI: 10.25630/Pav.2019.62.89.002.
- Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *J Agric Food Chem*. 2012;60(31):7644-51. doi: 10.1021/jf300459b.
- Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. *М.: Университет Книжный Дом*; 2007.
- Croft R.D. The chemistry and biological effects of flavonoids and phenolic acids. *Annual NY Academic Science*. 1998;(854):435-442.

## • References

1. Abellán Á.; Domínguez-Perles R.; Moreno D.A.; García-Viguera C. Sorting out the value of cruciferous sprouts as sources of bioactive compounds for nutrition and health. *Nutrients*. 2019;(11):429. DOI: 10.3390/nu11020429.
2. Choe U., Yu L.L., Wang T.T.Y. The Science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. *J Agric Food Chem*. 2018;66(44):11519-11530. doi: 10.1021/acs.jafc.8b03096.
3. Lenzi A., Orlandini A., Bulgari R., Ferrante A., Bruschi P. Antioxidant and mineral composition of three wild leafy species: a comparison between microgreens and baby greens. *Foods*. 2019;8(10):E487. doi: 10.3390/foods8100487.
4. Paponov, A.N., Shirinkin V.N.. Sprouts are a functional vegetable product. *Gavriish*. 2010;(2):8-9. (in Russ.)
5. Berezhnaya O.V. Development of technology for obtaining wheat seedlings in the production of bakery and culinary products. Moscow; 2015. (in Russ.)
6. Koneva M.S. Development of technology and evaluation of consumer properties of smoothies enriched with products from sprouted wheat grain. Moscow; 2017. (in Russ.)
7. Ivanova M.I., Kashleva A.I., Michailov V.V., Razin O.A. Innovative specific products: organic sprouts (microgreens) and seedlings (baby leaves). *Vegetable crops of Russia*. 2016;(1):29-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-29-33>.
8. Wigmore E. Sprouts are the food of life. *SPb:Publishing House "VES"*. 2001. (in Russ.)
9. Brazaitytė A., Viršilė A., Samuolienė G., Vaštakaitė-Kairienė V., Jankauskienė J., Miliauskienė J., Novičkovas A., Duchovskis P. Response of mustard microgreens to different wavelengths and durations of UV-A LEDs. *Front Plant Sci*. 2019;(10):1153. doi: 10.3389/fpls.2019.01153.
10. Samuolienė G., Brazaitytė A., Viršilė A., Miliauskienė J., Vaštakaitė-Kairienė V., Duchovskis P. Nutrient levels in Brassicaceae microgreens increase under tailored light-emitting diode spectra. *Front Plant Sci*. 2019;(10):1475. doi: 10.3389/fpls.2019.01475.
11. Molchanova A.V. Variety specificity of accumulation of antioxidants by various types of amaranth (*Amaranthus* L.) and improving the quality of marketable products. Moscow; 2011. (in Russ.)
12. Golubkina N.A., Caruso G. Nutritional Composition, Health Benefits and Antioxidant Properties of Onion. Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables. 1st Edition Paperback Academic Press 1st September; 2018. ISBN: 9780128127803.
13. Golubkina N.A., Seredin T.M., Baranova H.A., Startseva L.V., Agafonov A.F., Ushakova O.V., Kovalsky J.G. Prospects of production of allium seeds sprouts fortified with selenium. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(6):50-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-6-50-54>.
14. Barillari J., Canistro D., Paolini M., Ferroni F., Lori R., Valgimigli L. Direct antioxidant activity of purified glucoerucin, the dietary secondary metabolite contained in rocket (*Eruca sativa* Mill.) seeds and sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53(7):2475-2482.
15. Zych-Wężyki., Krzepińko A. A comparison of the antioxidant properties of selected edible sprouts of the Legumes family. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Pharmacia*. 2012;25(2):179-181.
16. Zych-Wężyki., Krzepińko A. A comparison of the antioxidant properties of selected edible sprouts from the Cruciferae family. Paper presented at: Konferencja naukowa "Nauka I praktyka ogrodnicza dla zdrowia I środowiska" Wrzesnia 14-16, 2011. *Lublin*.
17. de la Fuente B., López-García G., Máñez V., Alegría A., Barberá R., Cilla A. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens. *Foods*. 2019;8(7):E250. doi: 10.3390/foods8070250.
18. Liang H., Yuan Q., Xiao Q. Purification of sulforaphane from Brassicaoleraceae seed meal using pressure column chromatography. *Journal of chromatography*. 2005;(828):91-96.
19. Márton M., MándokiZs., Csapó-Kiss Zs., Csapó J. The role of sprouts in human nutrition. A review. *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. 2010;(3):81-117.
20. Pereira F.M.V., Rosa E., Fahey J.W., Stephenson K.K., Carvalho R., Aires A. Influence of temperature and ontogeny on the levels of glucosinolates in broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) sprouts and their effect on the induction of mammalian phase 2 enzymes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 2002;(50):6239-6244.
21. Shapiro T.A., Fahey J. W., Wade K.L., Stephenson K.K., Talalay P. Chemoprotective glucosinolates and isothiocyanates of broccoli sprouts: metabolism and excretion in humans. *Cancer epidemiology Biomarkers and Prevention*. 2001;(10):501-508.
22. Ushakova O.V., Molchanova A.V., Kotlyar I.P., Ushakov V.A., Pronina E.P., Vershinina N.P., Soldatenko A.V. Research of the biochemical value of vegetable pea seedlings (*Pisum sativum* L.). 2nd International Forum "Leguminous crops, a developing direction in Russia", *Omsk*. 2018. (in Russ.)
23. GOST 32592-2013 Seeds of vegetables, melons and gourds, fodder root crops and fodder cabbage. Varietal and sowing qualities. General technical conditions. 29 p. (in Russ.). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200109874>.
24. Golubkina N.A., Kekina E.G., Molchanova A.V., Antoshkina M.S., Nadezhkin S.M., Soldatenko A.V. Antioxidants of plants and methods for their determination. *M.: Publishing house of FSBSI FSVK*. 2020. (in Russ.)
25. Patent RF of inventors 2170930 C1/2001. Maksimova T.V., Nikulina I.N., Pakhomov V.P., Shkarina E.I., Chumakova Z.V., Arzamastsev A.P. Method for determining antioxidant activity. (in Russ.)
26. Misin V.M., Klimenko I.V., Zhuravleva T.S. On the suitability of gallic acid as a standard sample of antioxidant composition. *Competence*. 2014;7(118):46-51. (in Russ.)
27. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*. 1987;(148):350-382.
28. Ermakov V.V., Arasimovich N.P., Yarosh Yu.A., Peruvian G.A., Lukovnikova M.I., Ikonnikova M.I. Biochemical research methods. *L.: Agropromizdat*. 1987. (in Russ.)
29. Molchanova A.V., Kurbakov E.L. Biochemical composition of leaves of salad and leaf crops. Paper presented at: 3-rd International Conference, September 14 -16, 2011; *Lublin, Poland*.
30. Ushakova O.V., Molchanova A.V., Ushakov V.A., Kotlyar I.P. Influence of the method of germination on the biochemical composition of seedlings of vegetable peas (*Pisum sativum* L.). *Reports of the MTAA*. 2019:500-503. (in Russ.)
31. Shilo L.M., Ushakova O.V., Ushakov V.A., Pavlov L.V., Molchanova A.V. Microgreens of vegetable pea seedlings. *Potatoes and vegetables*. 2019;(8):21-22. DOI: 10.25630 / Pav.2019.62.89.002. (in Russ.)
32. Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *J Agric Food Chem*. 2012;60(31):7644-51. doi: 10.1021/jf300459b.
33. Poleskaya O.G. Plant cell and reactive oxygen species. *M.: University Book House*; 2007. (in Russ.)
34. Croft R.D. The chemistry and biological effects of flavonoids and phenolic acids. *Annual NY Academic Science*. 1998;(854):435-442.