

Научная статья

УДК 581.192.2:635.654.3

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-04



Питательная ценность образцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. с разным цветом семян

В.С. Попов, А.А. Никифоров, Э.Э. Сафонова*, Т.В. Шеленга, Е.А. Крылова, М.О. Бурляева

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Эльвира Эмильевна Сафонова, e.safonova@vir.nw.ru

Актуальность. Вигна китайская *Vigna unguiculata* (L.) Walp. издавна культивируется в Африке, юго-восточной Азии и Америке. Семена *V. unguiculata* известны своими вкусовыми качествами и содержат высокое количество белков, углеводов, макро- и микроэлементов, биологически активных соединений. Отмечаются антиоксидантные, антиканцерогенные и антибактериальные свойства культуры. Продукты, приготовленные из семян и бобов *V. unguiculata*, обладают диетической ценностью и входят в рационы питания людей, заботящихся о своем здоровье. Целью работы являлось определение питательной ценности образцов *V. unguiculata* из коллекции ВИР разного эколого-географического происхождения и имеющих разную окраску семенной кожуры. **Материалы и методы.** Для исследования были подобраны 39 образцов из коллекции ВИР. Изучали содержание белка, крахмала, антоцианов, каротиноидов, β -каротина и хлорофиллов в семенах. Количество антоцианов в семенах определяли в спиртовых экстрактах спектрофотометрическим методом, белка – по Кьельдалю, крахмала – по Эверсу, хлорофиллы, каротиноиды и β -каротин – спектрофотометрическим методом. **Результаты.** Диапазон варьирования количества антоцианов в семенах достаточно широк: от 1,8 до 404,4 мг%. Наиболее высокие показатели отмечены у семян с чёрной окраской (124,3-404,4 мг%), меньшие – у белосемянных (1,8-3,9 мг%). Содержание общего белка находилось в пределах 18,8-30,5%, крахмала – 42,6-57,1%, хлорофиллов *a* и *b* – от 0,13 до 3,7 мг%. Каротиноиды и β -каротин обнаружены в минимальных количествах: 0,07-0,72 мг% и 0,01-0,14 мг% соответственно. **Заключение.** В нашем опыте содержание антоциана в семенах влияло на цвет семенной кожуры, но не оказывало воздействие на показатели белка, крахмала, каротиноидов и β -каротина. Также наблюдалась достоверная ассоциация между содержанием каротиноидов в семенах и эколого-географическим происхождением образца. Выявлена положительные корреляции ($r > 0,8$) между содержанием хлорофиллов и β -каротина, между β -каротином и каротиноидами, отрицательная – между содержанием крахмала и белка ($r = -0,81$). Лучшую питательную ценность по комплексу изученных признаков имели образцы к-1738 ‘Сибирский размер’ (Россия) и к-567 (Индия).

Ключевые слова: белок, крахмал, антоцианы, каротиноиды, хлорофиллы, β -каротин, китайская вигна

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства».

Для цитирования: Попов В.С., Никифоров А.А., Сафонова Э.Э., Шеленга Т.В., Крылова Е.А., Бурляева М.О. Питательная ценность образцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. с разным цветом семян. *Биотехнология и селекция растений*. 2026;9(1):6-17. DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-04

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Попов В.С., Никифоров А.А., Сафонова Э.Э., Шеленга Т.В., Крылова Е.А., Бурляева М.О., 2026

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-04

Nutritional value of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. accessions with different seed color

Vitaliy S. Popov, Artur A. Nikiforov, Elvira E. Safonova*, Tatiana V. Shelenga, Ekaterina A. Krylova, Marina O. Burlyaeva

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Elvira E. Safonova, e.safonova@vir.nw.ru

Background. Cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. has long been a cultivated crop in Africa, Southeast Asia, and the Americas. Cowpea seeds are renowned for their delicious flavor and high protein, carbohydrate, macro- and micronutrient content, and bioactive compounds. The crop is known for its antioxidant, anticarcinogenic and antibacterial properties. Food products made from cowpea seeds have nutritional value and are a staple in the diets of health-conscious individuals. The aim of the work was to determine the nutritional value of seeds of *V. unguiculata* accessions from the VIR collection of different ecogeographical origin, having different colors of the seed coat. **Materials and methods.** Thirty-nine accessions from the VIR collection were chosen for the study. The content of nutritious and bioactive compounds, i.e. protein, starch, anthocyanins, carotenoids, β -carotene and chlorophylls was determined. The variation of the anthocyanin content was revealed depending on the seed color. The amount of anthocyanins in seeds was determined by spectrophotometry, of protein by Kjeldahl, and starch by Evers. Chlorophyll, carotenoids and beta-carotene were determined spectrophotometrically. **Results.** The range of variation of the anthocyanins content in seeds is quite wide from 1.8 to 404.4 mg%. The highest values were noted in black seeds (124.3-404.4 mg%). The content of total protein was within 18.8-30.5%, the range of starch variation was 42.6-57.1%, the content of chlorophylls *a* and *b* ranged from 0.13 to 3.7 mg%, and carotenoids and β -carotene were found in minimal quantities of 0.07-0.72 mg% and 0.01-0.14 mg%, respectively. **Conclusion.** In our experiment, the anthocyanin content of seeds influenced the color of the seed coat, but did not affect the protein, starch, carotenoid, and β -carotene levels. A significant association was also observed between the carotenoid content of seeds and the ecogeographical origin of the accession. A positive correlation ($r>0.8$) was found between the chlorophyll and β -carotene content, and between β -carotene and carotenoids, while a negative correlation was found between the starch and protein content ($r=-0.81$). The accessions k-1738 'Sibirski Razmer' (Russia) and k-567 (India) demonstrated the best nutritional value for the complex of traits studied.

Keywords: protein, starch, anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, β -carotene, vigna, cowpea

Acknowledgements: the work was performed within the framework of the State Assignment according to the Theme Plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0002 "Identifying possibilities in the genetic diversity of leguminous crops to optimize their breeding and diversify uses in various sectors of the national economy"

For citation: Popov V.S., Nikiforov A.A., Safonova E.E., Shelenga T.V., Krylova E.A., Burlyaeva M.O. Nutritional value of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. accessions with different seed color. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2026;9(1):6-17. DOI: 10.30901/2658-6266-2026-1-04

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Popov V.S., Nikiforov A.A., Safonova E.E., Shelenga T.V., Krylova E.A., Burlyaeva M.O., 2026

Введение

Вигна китайская *Vigna unguiculata* (L.) Walp. – однолетнее растение, отличающееся высокой засухоустойчивостью, а также относительно высокой урожайностью семян и надземной биомассы. Культура возделывается с давних времён и по сводкам FAO является одной из самых широко распространённых среди зернобобовых в мире (FAOSTAT, 2024). В последнее десятилетие во многих странах наблюдается рост посевных площадей и производства семян *V. unguiculata*. В 2016 году в мире было выращено около семи миллионов тонн, что в 3,3 раза больше, чем в 1990 году (Orita et al., 2019), а в 2023 году по данным FAO было собрано более 9,5 миллионов тонн (FAOSTAT, 2024). Основным регионом культивирования *V. unguiculata* является Африка, в частности Нигерия и Нигер, на которые приходится более 90% мирового производства *V. unguiculata* (Orita et al., 2019). Высокая устойчивость к жаре и засухе делает эту культуру универсальной для выращивания в странах с жарким климатом, особенно в условиях его глобального изменения (Boukar et al., 2019; Carvalho et al., 2022).

V. unguiculata ценится за высокие вкусовые качества семян и бобов и используется в пищу во многих странах. Ее семена считаются хорошим источником питательных и фитохимических веществ, таких как минералы (железо и цинк), витамины (фолиевая кислота и комплекс витаминов группы В), пищевые волокна, ненасыщенные жирные кислоты и фенольные соединения (Carvalho et al., 2022). Многие вещества, полученные при употреблении *V. unguiculata* в пищу, оказывают благоприятное действие на организм человека и поддержание его здоровья, особенно при хронических сердечно-сосудистых заболеваниях, желудочно-кишечных расстройствах, диабете, ожирении, а также при некоторых видах рака (Carvalho et al., 2022). Семена *V. unguiculata* применяются в различных диетах и популярны, как продукты здорового, диетического и лечебного питания. Кроме того, *V. unguiculata* используется как альтернативный источник растительного белка для людей, страдающих аллергической реакцией на соевый белок (Frota et al., 2008). Среди полезных свойств *V. unguiculata*, особое внимание привлекает её антиоксидантная активность, поскольку избыточное производство активных форм кислорода/азота в организме человека участвует в патогенезе старения и развитии многих распространённых заболеваний (Ames et al., 1993).

Семена *V. unguiculata* различаются по цвету семенной кожуры, они имеют цвет от насыщенно чёрного до белого. У ряда образцов на семенной кожуре различной конфигурации и размеров наблюдается наличие точек или пятнистость. Цвет семян обусловлен наличием в семенной кожуре различных пигментов: антоцианов, каротиноидов, хлорофиллов и др.

Культура характеризуется устойчиво высоким содержанием белка (до 38,5%) и крахмала (до 56,6%) в семе-

нах (Perchuk et al., 2020). Согласно данным литературы, у видов, родственных *V. unguiculata*, содержание белка в среднем составляет: у маша *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. – 30,21% (Wang et al., 2021), у сои *Glycine max* (L.) Merr. – 44,17% (Sinegovskaya et al., 2020), у фасоли *Phaseolus vulgaris* L. – 26,01% (Egorova et al., 2019). Таким образом, по содержанию белка в семенах *V. unguiculata* занимает одно из ведущих мест среди культур, входящих в трибу Phaseoleae Bronn ex DC. Содержание крахмала в семенах *V. unguiculata* также выше, чем у других видов вигны и фасоли. Так у адзуки *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H. Ohashi оно в среднем равняется 39,8% (Deepika et al., 2023), у рисовой фасоли *Vigna umbellata* L. – 32,8% (Chavan et al., 2009), в проростках *V. radiata* – 38,56% (Wang et al., 2021), в семенах разных сортов *P. vulgaris* варьирует от 39,68% до 43,78% (Marquezi et al., 2021).

Известно, что семена *V. unguiculata* с красно-коричневой или чёрной кожурой содержат антоцианы (Ha et al., 2010), в меньшей степени флавонолы (Cai et al., 2003) и проантоцианидины (Nachibamba et al., 2013), которые относят к полифенольным соединениям (Orita et al., 2019) и используют в медицине для улучшения здоровья человека (Zhou et al., 2024). Важно отметить, что антоцианы определяют не только пигментацию, но и играют роль в ответе растений на различные биологические и абиотические стрессы. В семенах *V. unguiculata* содержание антоцианов колеблется от 1,14 до 175,16 мг% (Krylova et al., 2023), у *V. angularis* – в пределах 3,14-7,94 мг% (Han et al., 2015). В семенах *V. radiata* обнаружены дельфинидин и цианидин в количестве 5,19-5,70 мг%. У сортов *P. vulgaris* с красными семенами выявлено 6,07-7,35 мг% антоцианов, у чечевицы (*Lens culinaris* Medik.) – 13,67-15,99 мг%, у кормовых бобов (*Vicia faba* L.) – 3,74-9,25 мг% (Kan et al., 2018). В чёрных семенах сои *G. max* с зелеными семядолями этот показатель находится в пределах от 260 до 2430 мг% (Jo et al., 2021).

Из биологически активных веществ в растениях *V. unguiculata* также обнаружены различные каротиноиды, которые являются вторыми по распространённости природными жирорастворимыми пигментами на земле, синтезируемыми растениями и выполняющими важные физиологические функции (Sodedji et al., 2024). Они полезны для здоровья человека, способствуют укреплению антиоксидантной защиты организма и снижают риск развития рака, заболеваний глаз и возрастных заболеваний (Sodedji et al., 2024). Уровень содержания каротиноидов в семенах *V. unguiculata* (0,0-0,1 мг/100 г), ниже, чем в семенах других зерновых бобовых культур, включая нут (0,8-3,0 мг/100 г) и горох (0,06-2,80 мг/100 г) (Sodedji et al., 2022), чечевицу (4,53-21,34 мкг/г сухого веса), красносемянную фасоль (8,29-20,95 мкг/г сухого веса) (Kan et al., 2018), желтосемянный горох (7-12 мкг/г) и зеленосемянный горох (16-21 мкг/г) (Ashokkumar et al., 2014).

В листьях высших растений вместе с другими каротиноидами синтезируется β-каротин, являющийся пред-

шественником витамина А, который регулирует окислительно-восстановительные процессы и обеспечивает синтез многих гормонов. У конских бобов, нута, чечевицы и фасоли содержание β -каротина незначительно и составляет 0,089, 0,077, 0,157 и 0,039 мкг/г соответственно (El-Qudah et al., 2014). Содержание β -каротина в ростках *V. unguiculata* в среднем равняется 13,2 мг% (Sodedji et al., 2022). Хотя бобовые содержат относительно низкое количество каротиноидов, они могут обеспечить количество, необходимое для поддержания здоровья человека (El-Qudah et al., 2014).

Информация о количественных показателях содержания хлорофиллов в семенах и листьях зернобобовых культур в научных источниках встречается крайне редко. Так листья *V. unguiculata* накапливают 0,692 мг/г хлорофилла *a*, 0,505 мг/г хлорофилла *b* и 1,197 мг/г общего хлорофилла (Talekar, 2022). Данные о содержании хлорофиллов в семенах *V. unguiculata* нами не обнаружены, хотя у этого вида существуют сорта с зеленым цветом семядолей, в которых хлорофилл сохраняется даже после созревания. Известно, что зеленая окраска семядолей связана со многими полезными для питания признаками, например, у нута – с высоким содержанием каротиноидов и хлорофиллов (Sivasakthi et al., 2019), у сои – с отсутствием антипитательных веществ (ингибитора трипсина Кунитца, лектинов и др.). Поэтому сейчас одним из направлений селекции сои и нута является создание сортов с зелеными семядолями, в которых наличие антипитательных и аллергенных факторов минимально (Sivasakthi et al., 2019; Choi et al., 2021;).

В мире широко культивируется небольшое число сортов *V. unguiculata*, различающихся по цвету семенной кожуры. Выбор сорта потребителями варьирует в разных регионах. На сегодняшний день информация о питательной ценности образцов с различной окраской семян ограничена, более точное знание этого вопроса позволит раскрыть потенциал культуры, расширить ассортимент сортов в сельскохозяйственном производстве и увеличить ареал возделывания *V. unguiculata*.

Целью работы являлось определение питательной ценности семян образцов *V. unguiculata* из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), разного эколого-географического происхождения, имеющих разный цвет семян. Кроме того, в задачи исследования входило выявление взаимосвязей между происхождением образцов, цветом семенной кожуры и содержанием белка, крахмала, антоциана, каротиноидов и хлорофиллов в семенах.

Материалы и методы

Для изучения из коллекции ВИР были отобраны 39 образцов семян *Vigna unguiculata* различного эколого-географического происхождения, а именно из Африки: Бенин (к-1906, к-1907), Бурунди (к-1289), Нигерия (к-1442, к-1372), Сомали (к-1173, к-1195), Танзания (к-1780),

Мадагаскар (к-1348); из Евразии: Абхазия (к-586), Вьетнам (к-1355, к-1912, к-1834), Дания (к-608), Индия (к-616, к-567), Иран (к-1129), Казахстан (к-1091), Лаос (к-1775, к-1776), Пакистан (к-1311), Португалия (к-1250), Россия (к-133, к-1738, к-2056, к-2057, к-2058), Таджикистан (к-697), Узбекистан (к-1027), Филиппины (к-1403, к-1406), Франция (к-1660); из Америки: Венесуэла (к-1352), Куба (к-389), Мексика (к-337), США (к-713, к-1249, к-1065); из Австралии (к-1110). В выборку включили семена белого, бежевого, бежевого с черными точками, вишневого, черного, красно-коричневого цвета, а также семена с черным и серым пятном вокруг рубчика.

Семена, взятые в исследование, репродуцировали на Астраханской опытной станции – филиале ВИР (АОС). Природная зона Астраханской области, представляющая собой пустыни и полупустыни, относится к умеренно-континентальному климатическому поясу. Средняя температура в годы выращивания образцов в этой области составила в июне 26,4, в июле – 28,3, в августе – 23,5, в сентябре – 18,6°C. Сумма активных температур за июнь-сентябрь составила 2955,1°C; сумма выпавших осадков – 33,1 мм (Weather and climate:..., 2024).

Биохимический анализ проводили в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР по методикам, утвержденным внутри института (Ermakov et al., 1987). Семена предварительно измельчали на лабораторной мельнице до состояния мелкодисперсной муки с размером частиц до 10 мкм. Навески для исследования брали из однородной средней пробы.

Количественное определение суммы антоцианов в семенах проводили в подкисленных спиртовых экстрактах согласно методике (Ogorodnova, Timofeeva, 2020). Анализ проводили с использованием центрифуги MPW-310 (MPW Medical Instruments, Польша), спектрофотометра LKB Biochrom NOVASPEC II (Amersham Pharmacia, Великобритания). Содержание суммы антоцианов в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид в абсолютно сухом сырье в процентах (X) вычисляли по формуле (1):

$$X = \frac{D \cdot V \cdot V_2 \cdot 100}{453 \cdot m \cdot V_1 \cdot (100 - W)} \quad (1)$$

где: D – оптическая плотность испытуемого раствора; 453 – удельный показатель поглощения цианидин-3,5-дигликозида в подкисленном 1% соляной кислотой 80% этаноле; m – масса сырья, г; V, V₁ и V₂ – исходный объем и объемы разведения, см³; W – потеря в массе при высушивании сырья, %.

Содержание белка определяли по Кьельдалю (коэффициент пересчета азота на белок 6,25) по ГОСТ 10846-91 (ГОСТ 10846-91, 2009). В работе использовали ферментёр и анализатор белка VELP SCIENTIFICA UDK 159 (VELP, Италия).

Содержание крахмала определяли поляриметрическим методом по Эверсу (коэффициент пересчета 174,7) с помощью автоматического поляриметра/сахариметра

SAC-i (ATAGO, Япония) по ГОСТ 10845-98 (GOST 10845-98, 2009).

Содержание суммы хлорофиллов, каротиноидов и β -каротина определяли по методике Т.М. Пановой и А.А. Щеголева (Panova, Shchegolev, 2010). При анализе использовали центрифугу MPW-310 (MPW Medical Instruments, Польша), спектрофотометр LKB Biochrom NOVASPEC II (Amersham Pharmacia, Великобритания). Содержание каротиноидов и хлорофиллов *a* и *b* определяли в полученном экстракте без их предварительного разделения при следующих длинах волн: 440, 644, 662 нм. В качестве экстрагента и раствора сравнения применяли 100% ацетон.

Концентрацию пигментов (*C*, мкг/см³) рассчитывали по уравнениям, составленным на основании экспериментально полученных удельных коэффициентов поглощения по формулам (2-5):

$$C_{\text{хл.А}} = 9,784 \cdot E_{662} - 0,990 \cdot E_{644}; \quad (2)$$

$$C_{\text{хл.В}} = 21,426 \cdot E_{644} - 4,650 \cdot E_{662}; \quad (3)$$

$$C_{\text{хл.А+хл.В}} = 5,134 \cdot E_{662} + 20,436 \cdot E_{644}; \quad (4)$$

$$C_{\text{кар.}} = 4,659 \cdot E_{440,5} - 0,268 \cdot C_{\text{хл.А+хл.В}} \quad (5)$$

Содержание каждого пигмента (после расчёта концентрации пигментов в вытяжке) с учетом объема экстракта и навески вычисляли по формуле (6):

$$X = \frac{V \cdot C \cdot 100}{m \cdot 1000 \cdot (100 - W)} \quad (6)$$

где: *V* – объем спиртового экстракта, см³; *C* – концентрация пигмента в спиртовом растворе, мкг/см³; *m* – навеска сырья, г; *W* – потеря в массе при высушивании сырья, %.

Содержание β -каротина определяли в исходном растворе при 454 нм. Фактор пересчёта по калибровочной кривой *F*=0,521. Содержание вещества рассчитывали по формуле (7):

$$X = \frac{C \cdot V \cdot 100}{m \cdot 1000} \quad (7)$$

где *C* – концентрация β -каротина, полученная на спектрофотометре (мг%)

Влажность (сухое вещество) семян определяли методом высушивания до постоянной массы при помощи сушильного шкафа UNPlus160 (Mettler, Германия) согласно ГОСТ 9404-88 (GOST 9404-88, 2007).

Статистический анализ данных проводили в программе Statistica-7 для Windows (основные статистики, дисперсионный и корреляционный анализ; StatSoft, 1984-2021). Рассчитывали ранговые коэффициенты корреляции Спирмана. Значения коэффициента корреляции $r \geq 0,70$ считали высокими, значения *r* в диапазоне от 0,50 до 0,70 – средними, значения $r \leq 0,50$ – низкими (Shmidt, 1984). Считали коэффициенты корреляции достоверно

значимыми на 5% уровне значимости ($p < 0,05$).

Результаты

В нашем опыте содержание общего белка в семенах в среднем составляло 25,2% и варьировало в пределах 18,8-30,5%. Наибольшее содержание белка выявлено в семенах к-567 (Индия): 30,5%, наименьшее – у к-337 (Мексика): 19,1% (рис. 1).

Дисперсионный анализ не выявил достоверной ассоциации между содержанием белка и происхождением: *F* (24, 14)=1,4 при $p=0,3$, а также окраской семенной кожуры: *F* (7, 31)=0,6 при $p=0,7$.

Содержание крахмала в семенах было высоким практически у всех образцов, при этом среднее значение равнялось 50,1%, а диапазон изменчивости находился в пределах от 42,6 до 57,1%. Самые высокие показатели содержания крахмала наблюдались у к-1249 (США): 55,1%, а также у к-337 (Мексика): 56,1%; самые низкие – у к-1091 (Казахстан): 43,7%, а также у к-1738, ‘Сибирский размер’ (Россия): 43,8% (рис. 2).

Содержание крахмала в семенах не зависело от происхождения образца: *F* (24, 14)=1,71, при $p=0,15$. Между окраской семян и содержанием крахмала связь также не выявлена: *F* (7, 31)=0,96, при $p=0,5$.

Показатель содержания антоцианов в семенах у исследуемых образцов сильно варьировал – от 1,8 до 404,4 мг%, и его значение в среднем составило 55,9 мг% (рис. 3). Наиболее высокие значения параметра выявлены у семян с чёрной окраской: 124,3-404,4 мг% у к-567, к-1091, к-1110, к-1355, к-1738, к-1912; меньшие – у бежевых с чёрными точками: 4,7-20,2 мг% у к-1403, к-1775, к-1776, к-1780, к-1906, к-1907, а также у белых с чёрным пятном вокруг рубчика: 4,4-21,8 мг% у к-337, к-389, к-1129, к-1250, к-1311, к-1372. Самые низкие значения были у белых семян и белых с серым пятном у рубчика: 1,8-3,9 мг% у к-1352, к-713, к-1660, к-1834. По содержанию антоцианов выделились образцы с чёрными семенами к-1355 (Вьетнам) 404,4 мг% и к-1738 ‘Сибирский размер’ (Россия) 394,0 мг%. Низкими показателями по этому признаку характеризовались образцы с белой окраской семян к-1352 (Венесуэла) 1,8 мг% и к-1660 (Франция) 3,5 мг%.

Дисперсионный анализ показал достоверное влияние содержания антоцианов на окраску семенной кожуры: *F* (7, 31)=30,37, при $p=0,00$. Однако он не выявил ассоциации между количеством антоцианов и происхождением образца: *F* (24, 14)=0,709, $p=0,78$.

Вишнёвые семена: к-1173, к-1195, к-1249, а также красно-коричневые: к-2056, к-2057, к-2058, к-1406 характеризовались также небольшим содержанием антоцианов 10,2-12,7 мг% и 9,6-14,8 мг% соответственно. Видимо у образцов с вишнёвым и бежевым цветом семенной кожуры окраска обусловлена не антоцианами, а иными пигментами, что требует дальнейших исследований.

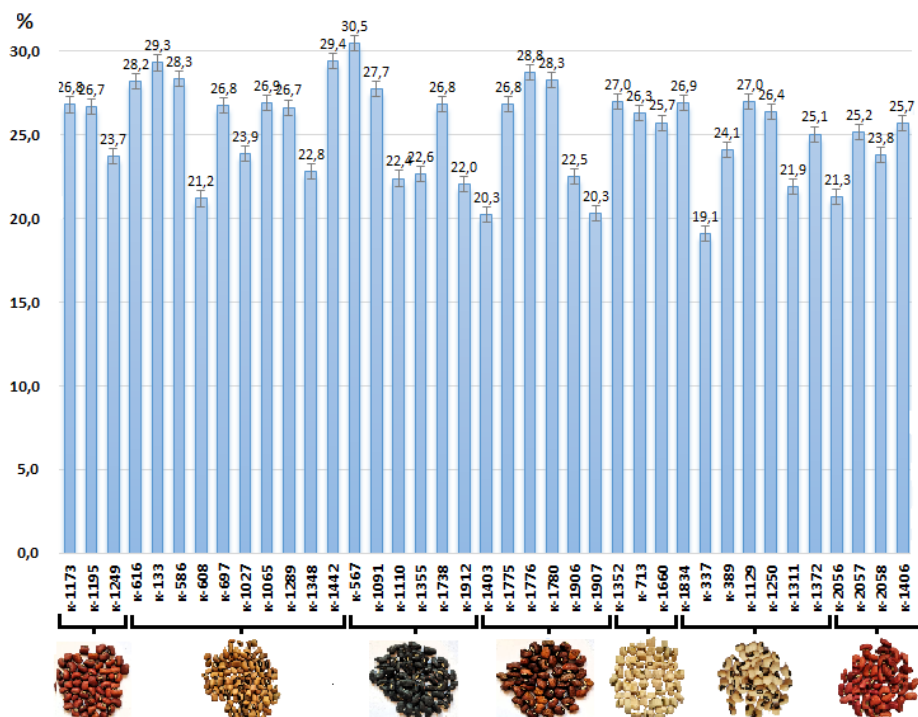


Рис. 1. Содержание белка в семенах *Vigna unguiculata* с разной окраской семенной кожуры

Fig. 1. Protein content in *V. unguiculata* seeds with different color of the seed coat

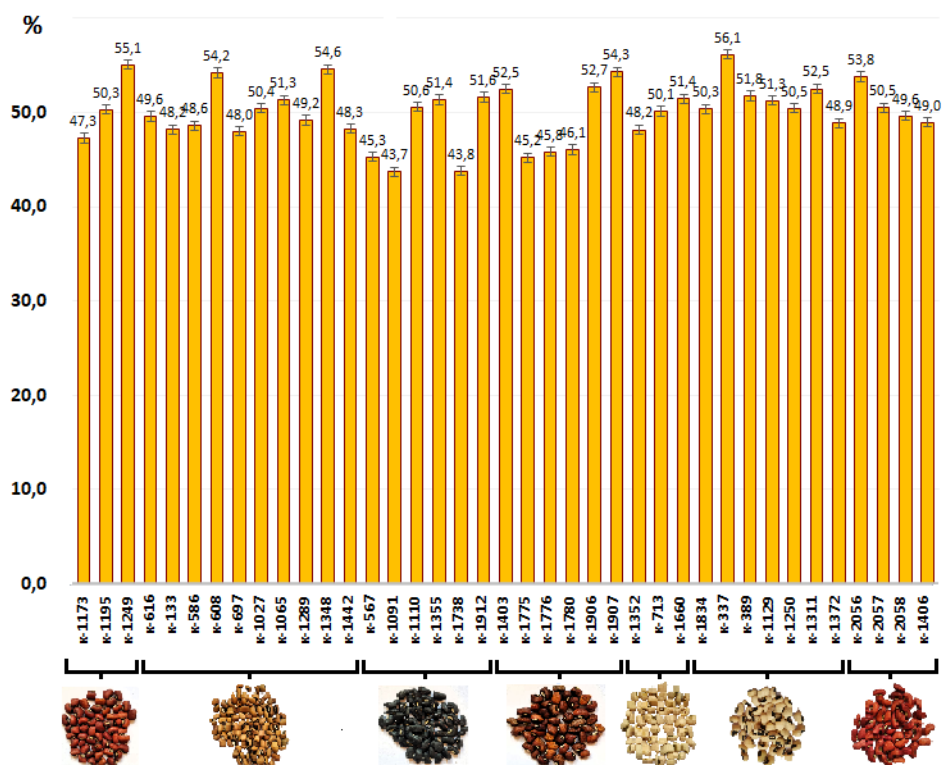


Рис. 2. Содержание крахмала в семенах *Vigna unguiculata* с разной окраской семенной кожуры

Fig. 2. Starch content in *V. unguiculata* seeds with different seed coat color

Содержание хлорофиллов, каротиноидов и β-каротина у исследуемых образцов *V. unguiculata* было достаточно низким (рис. 4). Диапазон варьирования количества хлорофиллов *a* и *b* в семенах находился в пределах от 0,13 до 3,66 мг% и в среднем равнялся 0,73 мг%, при этом содержание хлорофилла *b* примерно в 1,7 раза превышало содержание хлорофилла *a*. Наибольшее содержание хлорофиллов было у образцов к-1912 (Вьетнам), к-1173 (Сомали), к-1738 (Россия) и к-713 (США); наименьшее – у к-1775 (Лаос). Дисперсионный анализ не выявил связи между происхождением образцов и содержанием в их семенах хлорофиллов *a* и *b*: $F(28, 10)=0,42$, при $p=0,97$. В свою очередь содержание обоих типов хлорофиллов не влияло на окраску семян: $F(7, 31)=1,17$, при $p=0,35$.

Содержания каротиноидов в семенах было небольшим и колебалось от 0,07 до 0,72 мг%, средний показатель составил 0,17 мг%. Наибольшее содержание каротиноидов наблюдалось у образцов к-1173 (Сомали), к-1912 (Вьетнам) и к-713 (США); наименьшее – у к-1776 (Лаос). Следует отметить, что к-1912 имеет светло-зеленый цвет семядолей. Изучение влияния происхождения образцов на содержание каротиноидов показало достоверную ассоциацию: $F(28, 10)=3,42$, при $p=0,02$, а окраска семенной кожуры не была связана с накоплением

в семенах этого вещества ($F(7, 31)=1,51$, при $p=0,19$).

Содержание β-каротина в семенах выявлено в следовых количествах от 0,01 до 0,14 мг%, среднее значение составило 0,04 мг%. Самые высокие значения показателей были у к-1912 (Вьетнам), к-713 (США) и к-1173 (Сомали), самое низкое – у к-1775 (Лаос). Нами не установлено ассоциаций между происхождением образца и содержанием β-каротина в семенах: ($F(28, 10)=0,71$, при $p=0,78$). Окраска семян также не обусловлена наличием в семенах этого вещества: $F(7, 31)=1,29$, при $p=0,29$.

Корреляционный анализ изученных признаков выявил сильные взаимосвязи между содержанием хлорофилла и β-каротина ($r=0,95$), между β-каротином и каротиноидами ($r=0,80$). Средняя корреляция наблюдалась между количеством хлорофилла и каротиноидов ($r=0,61$), слабая, но достоверная между хлорофиллом и антоцианами ($r=0,38$) и высокая отрицательная взаимосвязь была обнаружена между содержанием крахмала и белка ($r=-0,81$).

Обсуждение

В нашем опыте среднее содержание белка в семенах равнялось 25,2% (18,8–30,5%), полученные данные сопоставимы с результатами других публикаций. Так,

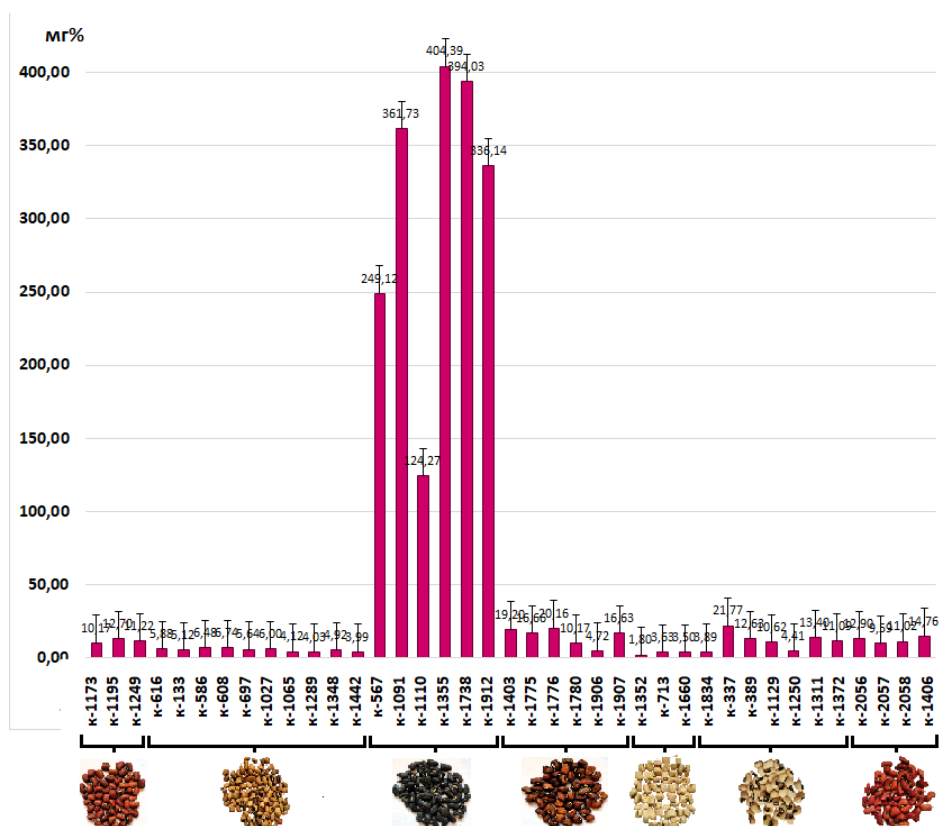


Рис. 3. Содержание антоцианов в семенах *Vigna unguiculata* с разной окраской семенной кожуры

Fig. 3. The content of anthocyanins in *V. unguiculata* seeds with different seed coat color

в статьях разных исследователей отмечается, что содержание белка в семенах *Vigna unguiculata* при возделывании в России может достигать 27,50% (Perchuk et al., 2020) и варьировать от 21,3 до 30,3% (Zhuzhukin et al., 2017), в США от 23,7 до 27,4% (Second Ravelombola et al., 2016), в Нигерии – от 15,06 до 38,50% (Ubini et al., 2016), в Китае – в пределах 17,30-27,23% (Bai et al., 2020), в Индии – от 19,4 до 27,9% (Padhi et al., 2022).

Содержание крахмала в семенах по нашим данным в среднем составляло 50,1% (42,6-57,1%). В статьях многих авторов также отмечены высокие показатели общего содержания крахмала в семенах. У разных сортов оно варьирует от 50,7 до 67,0% (Arora, Das, 1976), от 32,97 до 44,27% (Oke et al., 2015), от 50,99 до 51,33% (Naiker et al., 2019) и от 27,5 до 42,7% (Padhi et al., 2022).

Таким образом, вид *V. unguiculata* характеризуется относительно равным диапазоном варьирования значений содержания крахмала и белка в семенах при возделывании в разных странах. В наших исследованиях не была выявлена достоверная связь между происхождением образца и содержанием белка и крахмала в семенах; по-видимому, основную роль в данном случае играет генотип. Также не было обнаружено ассоциации между

цветом семян и содержанием белка и крахмала.

Содержание антоцианов в семенах в изученных нами образцах находилось в диапазоне от 1,8 мг% у образцов с белыми семенами до 404,4 мг% у тех, что характеризуются чёрными семенами. В работе Кан и сотрудников содержание антоцианов варьировало в пределах 3,38-10,65 мг% (Kan et al., 2018). В статье Крыловой и других (Krylova et al., 2023), как и в нашем опыте, доля антоцианов менялась в зависимости от цвета семян, от 0,00 мг% у белосемянных образцов, 2,96 у сортов с красновато-коричневой семенной кожурой и до 175,16 мг% у сортов с чёрными семенами. В другом исследовании содержание антоцианов у чёрносемянных образцов изменялось от 167,6 до 209,4 мг%, а в зеленых семенах составило 87,5 мг% (Ojwang et al., 2012). Достаточно большое количество этого вещества, 250 мг%, было определено у сортов с чёрной семенной кожурой и в других изысканиях (Ha et al., 2010). Резюмируя наши данные и результаты других исследователей можно сказать, что содержание антоцианов в семенах коррелирует с цветом семенной кожуры, но не зависит от происхождения образца.

Учитывая то, что чёрный цвет семян в большей степени обуславливают антоцианы, а их содержание в семе-

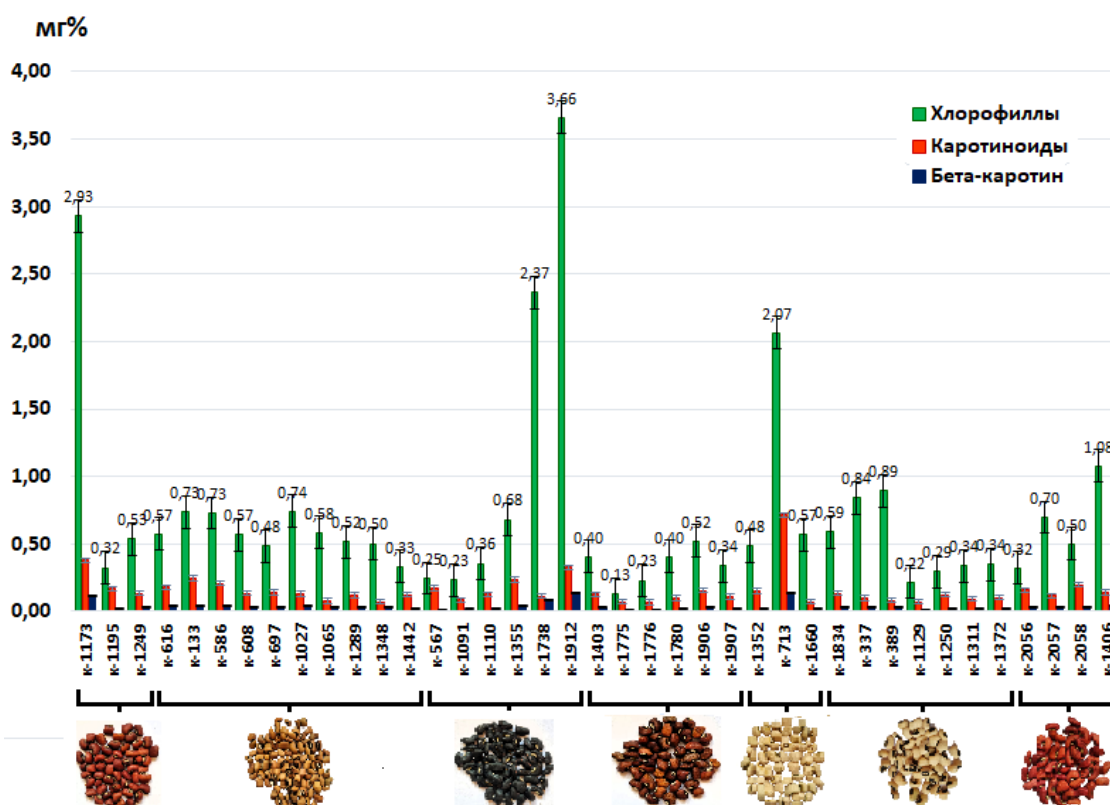


Рис. 4. Содержание хлорофилла, каротиноидов и β-каротина в семенах *Vigna unguiculata* с разной окраской семенной кожуры

Fig. 4. The content of chlorophyll, carotenoids and β-carotene in *V. unguiculata* seeds with different seed coat color

нах *V. unguiculata* с красной и коричневой окраской достаточно низкое, можно предположить, что цвет семян у последних зависит от других соединений, что требует дальнейшего исследования.

При изучении нашего материала мы идентифицировали небольшое количество β -каротина в семенах, а именно 0,04 мг% (от 0,01 до 0,14 мг%). В работах других авторов указывается также низкое содержание β -каротина в сухих семенах – от 0,00 до 0,01 мг% (Sodedji et al., 2024). А. Luthria и соавторы (Luthria et al., 2014) получили более высокие значения содержания β -каротина и их увеличение с $12,91 \pm 5,46$ мг/100 г в сухих семенах до $19,32 \pm 3,29$ мг/100 г в 2-дневных проростках. Анализ наших данных не выявил связи между цветом семян, происхождением образцов и наличием β -каротина в семенах, что, по-видимому, связано с наличием изменчивости по изучаемым признакам среди образцов, анализируемых разными авторами.

Исследования каротиноидов в сухих семенах *V. unguiculata* немногочисленны. По данным К.А.Ф. Sodedji и соавторов (Sodedji et al., 2024), общее содержание каротиноидов варьирует от 0,00 до 9,46 мкг/г, зависит от генотипа и степени зрелости семян. В нашем исследовании количество каротиноидов в семенах в среднем равнялось 0,16 мг% (0,07-0,72 мг%), наибольшими значениями показателя отличались образцы из США, России, Вьетнама и Сомали. Показатели этого признака были связаны, как с особенностями генотипа, так и с происхождением образца. Связь между цветом семян и количеством каротиноидов нами не обнаружена.

Диапазон варьирования количества хлорофиллов *a* и *b* в семенах в нашем опыте находился в пределах от 0,13 до 3,7 мг%, средний показатель был равен 0,73 мг%. Наибольшее содержание хлорофиллов наблюдалось у образцов к-1912 (Вьетнам), к-1173 (Сомали), к-1738 (Россия) и к-713 (США). Один из этих образцов к-1912 имел светло-зеленый цвет семядолей, остальные – желтый. Сохранение зеленого цвета у семядолей имеет гораздо больший практический интерес, чем просто необычный внешний вид, вызванный длительным сохранением хлорофилла. Известно, что биосинтез и сохранение хлорофилла регулируются каротиноидами, которые способствуют утилизации активных форм кислорода, образующихся в процессе захвата фотонов хлорофиллами. Следовательно, можно ожидать, что длительное сохранение хлорофилла в семенах связано с длительным сохранением каротиноидов, включая β -каротин, то есть провитамина А, которые имеют значение для улучшения рациона питания (Sivasakthi et al., 2019). Например, в настоящее время уже установлено, что в зеленых семядолях нута содержание специфических А-провитаминогенных каротиноидов, а именно β -каротина, в два-три раза больше, чем в семенах с желтыми семядолями (Rezaei et al., 2019). Сорта гороха с зелеными семядолями содержат примерно в два раза больше каротиноидов ($16-21$ мкг \times г $^{-1}$), чем сорта с желтыми семядолями ($7-12$ мкг \times г $^{-1}$) (Ashokkumar et al.,

2014). В нашем опыте подтвердилась как взаимосвязь между содержанием хлорофиллов и β -каротина в семенах ($r=0,95$), так и связь между количеством β -каротина и каротиноидов ($r=0,80$), и эти показатели имели очень высокие коэффициенты корреляции. Отметим, что такая зависимость между признаками наблюдалась у семян как со светло-зелеными, так и с желтыми семядолями. Поэтому необходимы дополнительные исследования, чтобы определить в какой степени повышенные уровни каротиноидов и хлорофиллов связаны с зеленым цветом семядолей *V. unguiculata*.

В результате исследования нами были выявлены образцы с высоким содержанием белка: к-567 (Индия) 30,02 мг%; к-133 (Россия) 29,57 мг%; крахмала: к-1249 (США) 55,05%; к-337 (Мексика) 56,15%; антоцианов: к-1355 (Вьетнам) 404,4 мг%; к-1738 ‘Сибирский размер’ (Россия) 371,79 мг%. Наибольшие показатели каротиноидов, β -каротина, хлорофиллов *a* и *b* отмечены у к-1912 (Вьетнам) 0,32 мг%, 0,14 мг%, 3,66 мг%; к-1173 (Сомали) 0,38 мг%, 0,12 мг%, 2,93 мг%; к-713 (США) 0,71 мг%, 0,13 мг%, 2,07 мг% соответственно. По комплексу биохимических признаков, отвечающих за питательную ценность, выделились к-1738 ‘Сибирский размер’ с высоким содержанием антоцианов, достигающим 394,0 мг%, относительно высоким содержанием белка (26,82%) и крахмала (43,77%) и к-567 из Индии с большим количеством антоцианов, белка и крахмала: 249,1 мг%, 30,51% и 45,28% соответственно. Образец к-1442 (Нигерия) отличался хорошими показателями по содержанию белка (29,43%) и крахмала (48,29%), но имел низкое содержание антоцианов (4,0 мг%). Несмотря на рассчитанную нами отрицательную корреляцию между содержанием белка и крахмала в семенах *V. unguiculata* ($r= -0,81$), тенденция, также выявленная в случае зерновок злаковых культур (Novikov, 2012), значения показателей у образца к-1442 (Нигерия) указывают на то, что в его семенах накапливается достаточное количество и белка, и крахмала, что свидетельствует о возможности селекции генотипов с высокими значениями параметров по обоим признакам.

Заключение

Исследование питательной ценности образцов *Vigna unguiculata*, имеющих разный цвет семян и различное эколого-географическое происхождение, выявило прямую зависимость окраски семенной кожуры от содержания антоцианов. Достоверных связей между происхождением образцов и содержанием большинства исследованных биохимических признаков в семенах в нашей выборке обнаружено не было, за исключением количества каротиноидов, на которое влияло происхождение. Семена с черной окраской содержали значительно большее количество антоцианов, чем семена других цветов, вишневого и красно-коричневого, которые, несмотря на интенсивность окраски, имели низкие показатели по этому признаку. По-видимому, окраска семян данных

образцов обусловлена не только антоцианами, но и другими пигментами. Содержание β -каротина в семенах коррелировало с хлорофиллом и каротиноидами ($r > 0,8$), а для содержания крахмала и белка выявлена отрицательная корреляция ($r = -0,81$). Содержание этих соединений достоверно не связано ни с окраской семян, ни с происхождением образцов: их накопление связано с особенностями генотипа. Образцы, выделенные нами по высокому содержанию белка, крахмала, каротиноидов и хлорофиллов в семенах, можно использовать для производства продуктов питания и пищевых добавок богатыми питательными и биологически активными веществами, а также в качестве кормов для животных. Эти образцы будут востребованы и при селекции высокоценных пищевых и кормовых сортов *V. unguiculata*.

References/Литература

- Arora S.K., Das B. Cowpea as potential crop for starch. *Starch-starke*. 1976;28(5):158-160. DOI: 10.1002/STAR.19760280503
- Ashokkumar K., Tar'an B., Diapari M., Arganosa G., Warkentin T.D. Effect of Cultivar and Environment on Carotenoid Profile of Pea and Chickpea. *Crop Science*. 2014;54:2225-2235. DOI: 10.2135/cropsci2013.12.0827
- Bai Z., Huang X., Meng J., Kan L., Nie S. A comparative study on nutritive peculiarities of 24 Chinese cowpea cultivars. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;146:111841. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111841
- Boukar O., Belko N., Chamarthi S., Togola A., Batieno J., Owusu E., Haruna M., Diallo S., Umar M., Olufajo O., Fatokun C. Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, Genomics and Breeding. *Plant Breeding*. 2019;138:415-424. DOI: 10.1111/pbr.12589
- Carvalho M., Carnide V., Sobreira C., Castro I., Coutinho J., Barros A., Rosa E. Cowpea immature pods and grains evaluation: an opportunity for different food sources. *Plants*. 2022;11:2079. DOI: 10.3390/plants11162079
- Chavan U.D., Momin A., Chavan J.K., Amarowicz R. Characteristics of starch from rice bean (*Vigna umbellata* L.) seeds – a short report. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2009;59(1):25-27.
- Choi S.W., Kang J.E., Lee S.K., Ly S., Chung J.I. Breeding of Black Soybean with Green Cotyledon and Four Recessive Alleles for Lipoxigenase, Kunitz Trypsin Inhibitor, Lectin, and Stachyose. *Agronomy*. 2021;11:309. DOI: 10.3390/agronomy11020309
- Deepika D.D., Padhi S.R., Gore P.G., Tripathi K., Katral A., Chandora R., Abhishek G.J., Kondal V., Singh R., Bharadwaj R., Bhatt K., Rana J., Riar A. Nutritional potential of adzuki bean germplasm and mining nutri-dense accessions through multivariate analysis. *Foods*. 2023;12:4159. DOI: 10.3390/foods12224159
- Egorova G.P., Perchuk I.N., Solovyeva A.E., Buravtseva T.V. Sources of high protein content in common bean seeds (*Phaseolus vulgaris*) from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(2):44-50. [in Russian] (Егорова Г.П., Перчук И.Н., Соловьева А.Е., Буравцева Т.В. Источники высокого содержания белка семян фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*) из мировой коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):44-50). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-44-50
- El-Qudah J.M. Estimation of carotenoid contents of selected Mediterranean legumes by HPLC. *World Journal of Medical Sciences*. 2014;10:89-93. DOI: 10.5829/idosi.wjms.2014.10.1.81202
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and agriculture data; 2024. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [accessed Sept. 25, 2025].
- GOST 10845-98. Grain and its processed products. The method of starch determination. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10845-98. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023863> [дата обращения: 11.04.2025].
- GOST 10846-91. Grain and its processed products. The method of protein determination. Moscow: Standartinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023864> [дата обращения: 11.04.2025].
- GOST 9404-88. Flour and bran. Method of moisture content determination. Moscow: Standartinform; 2007. [in Russian] (ГОСТ 9404-88. Мука и отруби. Метод определения влажности. Москва: Стандартинформ; 2007). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022334> [дата обращения: 22.05.2025].
- Ha T.J., Lee M.H., Park C.H., Pae S.B., Shim K.B., Ko J.M., Shin S.O., Baek I.Y., Park K.Y. Identification and characterization of anthocyanins in yard-long beans (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* L.) by High-Performance Liquid Chromatography with diode array detection and electrospray ionization/mass spectrometry (HPLC-DAD-ESI/MS) analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010; 58(4):2571-2576. DOI: 10.1021/JF903883E
- Han K.-H., Kitano-Okada T., Seo J.-M., Kim S.-J., Sasaki K., Shimada K., Fukushima M. Characterisation of anthocyanins and proanthocyanidins of adzuki bean extracts and their antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*. 2015;14:692-701. DOI: 10.1016/j.jff.2015.02.018
- Jo H., Lee J.Y., Cho H., Choi H.J., Son C.K., Bae J.S., Bilyeu K., Song J.T., Lee J.D. Genetic diversity of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) with black seed coats and green cotyledons in Korean germplasm. *Agronomy*. 2021;11:581. DOI: 10.3390/agronomy11030581
- Krylova E.A., Mikhailova A.S., Zinchenko Y.N., Perchuk I.N., Razgonova M.P., Khlestkina E.K., Burlayaeva M.O. The content of anthocyanins in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seeds and contribution of the MYB gene cluster to their coloration pattern. *Plants*. 2023;12(20):3624. DOI: 10.3390/plants12203624
- Kan L., Nie S., Hu J., Wang S., Bai Z., Wang J., Zhou Y., Jiang J., Zeng Q., Song K. Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. *Food Chemistry*. 2018;260:317-326. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03
- Luthria A., Singh K., D'Souza M. *In vitro* antioxidant activity of black gram, cowpea, desi chickpea and yellow mustards affected by sprouting. *Journal of Global Biosciences*. 2014;3(1):385-389. Available from: https://www.researchgate.net/publication/261996070_In_vitro_antioxidant_activity_of_black_gram_cowpea_desi_chickpea_and_yellow_mustard_as_affected_by_sprouting [accessed Sept. 13, 2025].
- Naiker T.S., Gerrano A.S., Mellem J.J. Physicochemical properties of flour produced from different cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars of Southern African origin. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56(3):1541-1550. DOI: 10.1007/S13197-019-03649-1
- Novikov N.N. Plant biochemistry (Биохимия растений). I.A. Frolova, A.S. Maksimova (eds). Moscow: KolosS; 2012. [in Russian] (Новиков Н.Н. Биохимия растений / под ред. И.А. Фроловой, А.С. Максимовой. Москва: КолосС; 2012).
- Ogorodnova U.A., Timofeeva O.A. A comprehensive practical course on plant physiology and biochemistry: a teaching aid (Bol'shoy praktikum po fiziologii i biokhimii rasteniy: uchebno-metodicheskoye posobiye). Kazan: Kazan University Publishing House; 2020. [in Russian] (Огороднова У.А., Тимофеева О.А. Большой практикум по физиологии и биохимии растений: учебно-методическое пособие. Казань: Издательство Казанского университета; 2020). URL: https://kpfu.ru/portal/docs/F1945282971/Metodichka.Ogorodnovoj_.Timofeevoj_1.2.pdf [дата обращения: 25.09.2025].
- Ojwang L., Dykes L., Awika J. Ultra performance liquid chromatography–tandem quadrupole mass spectrometry profiling of anthocyanins and flavonols in cowpea (*Vigna unguiculata*) of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012;60(14):3735-3744. DOI: 10.1021/JF2052948
- Oke D.B., Tewe O.O., Fetuga B.L. The nutrient composition of some

- cowpea varieties. *Nigerian Journal of Animal Production*. 2015;22(1):32-36. DOI: 10.51791/NJAP.V22I1.2024
- Orita A., Musou-Yahada A., Shoji T., Okiand T., Ohta H. Comparison of anthocyanins, proanthocyanidin oligomers and antioxidant capacity between cowpea and grain legumes with colored seed coat. *Food Science and Technology Research*. 2019;25(2):287-294. DOI: 10.3136/fstr.25.287
- Padhi S.R., Bartwal A., John R., Tripathi K., Gupta K., Wankhede D.P., Mishra G.P., Kumar S., Archak S., Bhardwaj R. Evaluation and multivariate analysis of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] germplasm for selected nutrients – mining for nutrient accessions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022;6:888041. DOI: 10.3389/fsufs.2022.888041
- Panova T.M., Shchegolev A.A. Technology and equipment for processing plant raw matter: (guidelines for laboratory practical training) (Технология и оборудование для переработки растительного сырья: (методические указания по выполнению лабораторного практикума)). Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University = Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet; 2010. [in Russian] (Панова Т.М. Шеголев А.А. Технология и оборудование для переработки растительного сырья: (методические указания по выполнению лабораторного практикума). Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет; 2010). URL: https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/41/3/Panova_T.M.%2c%20_SHegolev_A.A..pdf [дата обращения: 25.09.2025].
- Perchuk I., Shelenga T., Gurkina M., Miroshnichenko E., Burlyayeva M. Composition of primary and secondary metabolite compounds in seeds and pods of asparagus bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) from China. *Molecules*. 2020;25:3778. DOI: 10.3390/molecules25173778
- Rezaei M.K., Deokar A.A., Arganosa G., Roorkiwal M., Pandey S.K., Warkentin T.D., Varshney R.K., Taran B. Mapping quantitative trait loci for carotenoid concentration in three F₂ populations of chickpea. *Plant Genome*. 2019;12(3):190067. DOI: 10.3835/plantgenome2019.07.0067
- Second Ravelombola W., Shi A., Weng Y., Motes D., Chen P., Srivastava V., Wingfield C. Evaluation of total seed protein content in eleven Arkansas cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) lines. *American Journal of Plant Sciences*. 2016;7:2288-2296. DOI: 10.4236/ajps.2016.715201
- Shmidt V.M. Mathematical methods in botany (Matematicheskiye metody v botanike). Leningrad: Publishing house of Leningrad State University; 1984. [in Russian] (Шмидт В.М. Математические методы в ботанике. Ленинград: Изд-во ЛГУ; 1984).
- Sinegovskaya V.T., Ochкурова V.V., Sinegovskiy M.O. Contents of protein and fat in soybean seeds of various genetic origin. *Russian Agricultural Sciences*. 2020;5:15-19. [in Russian] (Синеговская В.Т., Очкурова В.В., Синеговский М.О. Содержание белка и жира в семенах сортов сои различного генетического происхождения. *Российская Сельскохозяйственная Наука*. 2020;5:15-19). DOI: 10.31857/S250026272005004X
- Sivasakthi K., Marques E., Kalungwana N., Carrasquilla-Garcia N., Chang P.L., Bergmann E.M., Bueno E., Cordeiro M., Sani S.G.A.S., Udupa S.M. Rather I.A., Rouf Mir R., Vadez V., Vandemark G.J., Gaur P.M., Cook D.R., Boesch C., von Wettberg E.J.B., Kholova J., Penmetza R.V. Functional dissection of the chickpea (*Cicer arietinum* L.) stay-green phenotype associated with molecular variation at an ortholog of Mendel's I gene for cotyledon color: implications for crop production and carotenoid biofortification. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(22):5562. DOI: 10.3390/ijms20225562
- Sodedji K.A.F., Assogbadjo A.E., Lee B., Kim H.-Y. An integrated approach for biofortification of carotenoids in cowpea for human nutrition and health. *Plants*. 2024;13:412. DOI: 10.3390/plants13030412
- Sodedji K.A.F., Ryu D.H., Choi J.Y., Agbahoungba S., Assogbadjo A.E., N'guetta S.P.A., Jung J.H., Nho C.W., Kim H.Y. Genetic diversity and association analysis for carotenoid content among sprouts of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(7):3696. DOI: 10.3390/ijms23073696
- StatSoft. Electronic manual on statistics (Elektronnyi uchebnyk po statistike). 1984-2021. [in Russian] (StatSoft. Электронный учебник по статистике. 1984-2021). URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> [дата обращения: 06.05.2025].
- Talekar S.M. Studies on chlorophyll changes in healthy and diseased leaf of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *World Journal of Engineering Research and Technology*. 2022;8(5):272-275.
- Ubini A.R., Idegba C.M., Isaac I.E., Ilejeji A., Bozeinghien H. Seed protein content variation in cowpea genotypes. *African Journal of Plant Breeding*. 2016;3(1):142-147.
- Wang K., Huang M., Yang S., Li X., Gao Y., Yang P., Gao J., Gao X. Study on nutritional characteristics and antioxidant capacity of mung bean during germination. *Czech Journal of Food Sciences*. 2021;39(6):469-478. DOI: 10.17221/65/2021-CJFS
- Weather and climate: reference and information portal (Pogoda i klimat: spravочно-informatsionnyi portal). 2024. [in Russian] (Погода и климат: справочно-информационный портал. 2024). URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> [дата обращения: 24.01.2025]
- Zhou B., Zheng B., Wu W. The ncRNAs involved in the regulation of abiotic stress-induced anthocyanin biosynthesis in plants. *Antioxidants*. 2024;13(1):55. DOI: 10.3390/antiox13010055
- Zhuzhukin V.I., Gorbunov V.S., Bagdalova A.Z. Variability of morphological features and biochemical composition of vigna seeds in the lower Volga region conditions. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2017;6:39-41. [in Russian] (Жужукин В.И., Горбунов В.С., Багдалова А.З. Изменчивость морфологических признаков и биохимического состава семян вигры в условиях нижнего Поволжья. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2017;6:39-41).

Информация об авторах

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Артур Александрович Никифоров, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, artur.nikiforov.2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2859-0797>

Эльвира Эмильевна Сафонова, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, e.safonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2199-3115>

Татьяна Васильевна Шеленга, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, tatanashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Екатерина Александровна Крылова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Марина Олеговна Бурляева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, m.burlyaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Information about the authors

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, v.popov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Artur A. Nikiforov, graduate student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, artur.nikiforov.2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2859-0797>

Elvira E. Safonova, Cand. Sci. (Pedagogy), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, e.safonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2199-3115>

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Ekaterina A. Krylova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, e.krylova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4917-6862>

Marina O. Burlyaeva, Cand. Sci. (Biology), Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, m.burlyaeva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3708-2594>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.10.2025; одобрена после рецензирования 19.11.2025; принята к публикации 19.02.2026.

The article was submitted on 23.10.2025; approved after reviewing on 19.11.2025; accepted for publication on 19.02.2026.