

ИСТОЧНИКИ ВЫСОКОГО СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА СЕМЯН ФАСОЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PHASEOLUS VULGARIS*) ИЗ МИРОВОЙ КОЛЛЕКЦИИ ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-44-50

УДК 635.652.2:581.19

Поступление/Received: 15.02.2019

Принято/Accepted: 10.06.2019

Г. П. ЕГОРОВА, И. Н. ПЕРЧУК, А. Е. СОЛОВЬЕВА,
Т. В. БУРАВЦЕВА

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н. И. Вавилова (ВИР),
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;
✉ g.egorova@vir.nw.ru

SOURCES OF HIGH PROTEIN CONTENT IN COMMON BEAN SEEDS (*PHASEOLUS VULGARIS*) FROM THE VIR COLLECTION

G. P. EGOROVA, I. N. PERCHUK, A. E. SOLOVYEVA,
T. V. BURAVTSEVA

N. I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources (VIR),
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia;
✉ g.egorova@vir.nw.ru

Актуальность. Высокое содержание белка в семенах является одним из важнейших показателей пищевой ценности фасоли, поэтому поиск высокобелковых образцов, выделение источников высокого содержания белка и их использование в селекционном процессе при создании новых сортов остается актуальным. **Материалы и методы.** Приведены результаты биохимического скрининга 166 образцов фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения 2005–2016 гг. поступления. Полевое изучение хозяйственно ценных признаков проводилось по методике ВИР. Содержание белка в семенах определяли в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР по методу Кьельдаля. Математическую обработку данных (корреляционный и однофакторный дисперсионный анализ) проводили в программе Statistica 7.0 (StatSoft, Inc., USA). **Результаты и выводы.** В результате проведенной оценки выделено и приведено описание 12 источников высокого содержания белка в семенах (> 28% ежегодно). Содержание белка в семенах фасоли изменялось от 19,3 до 31,4%. Среднее значение признака составило 26,01%, при этом оно различалось в зависимости от страны происхождения, генотипа и года изучения. В результате проведенного корреляционного анализа общих закономерностей (стабильных сильных взаимосвязей) между содержанием белка в семенах и морфологическими, хозяйственно ценными признаками не выявлено. Величины коэффициентов корреляции были неустойчивы по годам изучения. Содержание белка слабо коррелировало с генотипом ($r = 0,25$) и годом репродукции ($r = 0,24$). Значимых взаимосвязей между содержанием белка, морфологическими и хозяйственно ценными признаками найти не удалось. Содержание белка в семенах, по результатам однофакторного дисперсионного анализа, в большей степени зависит от генетических свойств растений (доля влияния – 70,1%), в незначительной степени – от года репродукции (14,5%) и происхождения (17,5%).

Ключевые слова: фасоль, коллекция, источники, белок, корреляционный анализ, дисперсионный анализ.

Background. An important trend in modern breeding of common beans is to improve the quality of grain. High protein content in seeds is one of the most important indicators of the nutritional value of beans. Searching for high-protein accessions, identifying sources of high protein content, and using them in the breeding process, while developing new cultivars, still remain relevant. The aims of our research included the identification of variability patterns for protein content in accessions of different origin, characterization of cultivars, and description of their morphological and economic traits. **Materials and methods.** Presented here are the results of biochemical screening of 166 common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) accessions of various ecogeographic origin, added to the VIR collection in 2005–2016. Field study of economically valuable traits was carried out according to VIR's techniques. The protein content in seeds was measured in the Biochemistry and Molecular Biology Department at VIR using Kjeldahl method. Mathematical data processing (correlation analysis and single-factor analysis of variance) was performed using Statistica 7.0 software (StatSoft, Inc., USA). **Results and conclusions.** As a result of the assessment, 12 sources of high protein content in seeds (> 28% annually) were identified and described. The average value of the trait differed depending on the country of origin, genotype and year of study. The correlation analysis failed to find general regularities (strong stable interrelations) between the protein content in seeds and morphological, economically valuable traits. The values of correlation coefficients were unstable over the years of study. Weak links between the protein content and the genotype ($r = 0.25$) or the year of reproduction ($r = 0.24$) were identified. Significant relationships between protein content, morphological and economically valuable traits were not found. Seed protein content, according to the results of the single-factor analysis of variance, largely depended on the genetic properties of plants (effect size is 70.1%), and, to a smaller extent, on the year of reproduction (14.5%) and origin (17.5%).

Key words: common bean, collection, sources, protein, variability correlation analysis, analysis of variance.

Введение

Фасоль обыкновенная широко распространена в мировом земледелии, ее возделывают более чем в 150 странах в различных почвенно-климатических зонах. Общая площадь посевов культуры в мире составляет около 38 млн га (FAOSTAT, 2017). Широкое распространение фасоли обусловлено важнейшим показателем ее пищевой ценности и высоким содержанием белка в семенах (20–35% в разных сортах).

Большое влияние на содержание белка оказывают генетические особенности растений. Колебания накопления белка в семенах фасоли зависят от условий внешней среды, почвенно-климатических и других факторов. Ряд исследователей связывают содержание белка в семенах фасоли с различными хозяйственно ценными признаками (группой спелости, типом куста, продуктивностью и др.). Литературные данные по этому поводу изложены нами в предыдущей статье (Burgavtseva et al., 2015), где сделан вывод, что накопление белка в семенах фасоли в большей степени зависит от генома растений, в меньшей – от погодных условий, и в незначительной – от места репродукции.

Важным источником генетического разнообразия исходного материала для селекции является мировая коллекция ВИР. В настоящее время коллекция насчитывает 7790 образцов фасоли из 102 стран мира и включает как местные, так и селекционные сорта. Ежегодно проводится изучение образцов коллекции, что позволяет выделять и создавать исходный материал, способный значительно повысить эффективность селекционной ра-

боты. Поиск и выделение высокобелковых образцов и их использование при создании новых сортов остается актуальным, так как количество белка в районированных сортах не превышает 25%. Скрининг образцов с целью определения содержания белка систематически проводится в лаборатории биохимии ВИР, по результатам оценки выделяются высокобелковые образцы. Цель наших исследований – поиск источников высокого содержания белка в семенах для селекции и выявление возможных закономерностей изменчивости этого признака.

Материалы и методы

Материалом для данного исследования послужили 166 образцов фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения 2005–2016 гг. поступления, репродуцированных на Астраханской опытной станции – филиале ВИР. Изучение хозяйственно ценных признаков осуществляли согласно методике ВИР (Budanova et al., 1987; Vishnyakova et al., 2010). Содержание белка в семенах определяли в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР по методу Кьельдаля на приборе KjeltecAuto 1030 Analyzer (Швеция). Представлены данные двух-трех лет изучения.

Изученный материал представлен селекционными и местными сортами различного географического происхождения из 38 стран (табл. 1). Больше всего образцов было из России (17), Украины (17), Австралии (16), Германии (11), Бразилии (10), Таджикистана (9), Канады и Колумбии (7).

Таблица 1. Происхождение изученных образцов фасоли обыкновенной из мировой коллекции ВИР

Table 1. Origin of the studied common bean accessions from the VIR collection

Континент (страна)	Число образцов	Страна
Россия	17	Россия – 17
Европа	53	Англия – 1, Венгрия – 6, Германия – 11, Молдова – 1, Нидерланды – 2, Польша – 5, Румыния – 3, Словакия – 1, Украина – 17, Швеция – 2, Чехия – 4
Северная Америка	11	Канада – 7, Мексика – 4
Южная Америка	30	Боливия – 4, Бразилия – 10, Венесуэла – 2, Колумбия – 7, Куба – 4, Перу – 2, Эквадор – 1
Австралия	16	Австралия – 16
Африка	10	Бутан – 1, Кения – 3, Мадагаскар – 1, Марокко – 2, Танзания – 2, Тунис – 1
Азия	29	Вьетнам – 6, Индия – 1, Китай – 2, Лаос – 3, Казахстан – 2, Непал – 1, Сингапур – 1, Таджикистан – 9, Турция – 3, Япония – 1
Всего:	166	

Для статистической обработки результатов исследований мы сформировали базу данных (БД) по следующим 16 столбцам: номер каталога, название сорта, происхождение образца, год репродукции, содержание белка, характер роста, тип куста, окраска семян и незрелого боба, наличие пергаменты и волокна в бобах, форма боба по поперечному сечению, масса 1000 семян, группа спелости, продуктивность, направление использования. Морфологические и хозяйственно ценные признаки при внесении в БД кодировали в соответствии с классификатором ВИР

(Budanova et al., 1985).

Статистический анализ проводили в программе Statistica 7.0 (StatSoft, Inc., USA). Исследовали изменчивость взаимосвязей между содержанием белка в семенах и хозяйственно ценными признаками в зависимости от года репродукции, происхождения и генотипа образцов. Достоверность влияния перечисленных факторов на содержание белка определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (Vishnyakova et al., 2010; Borovikov V.P., Borovikov I.P., 1998; Borovikov V.P., 2001).

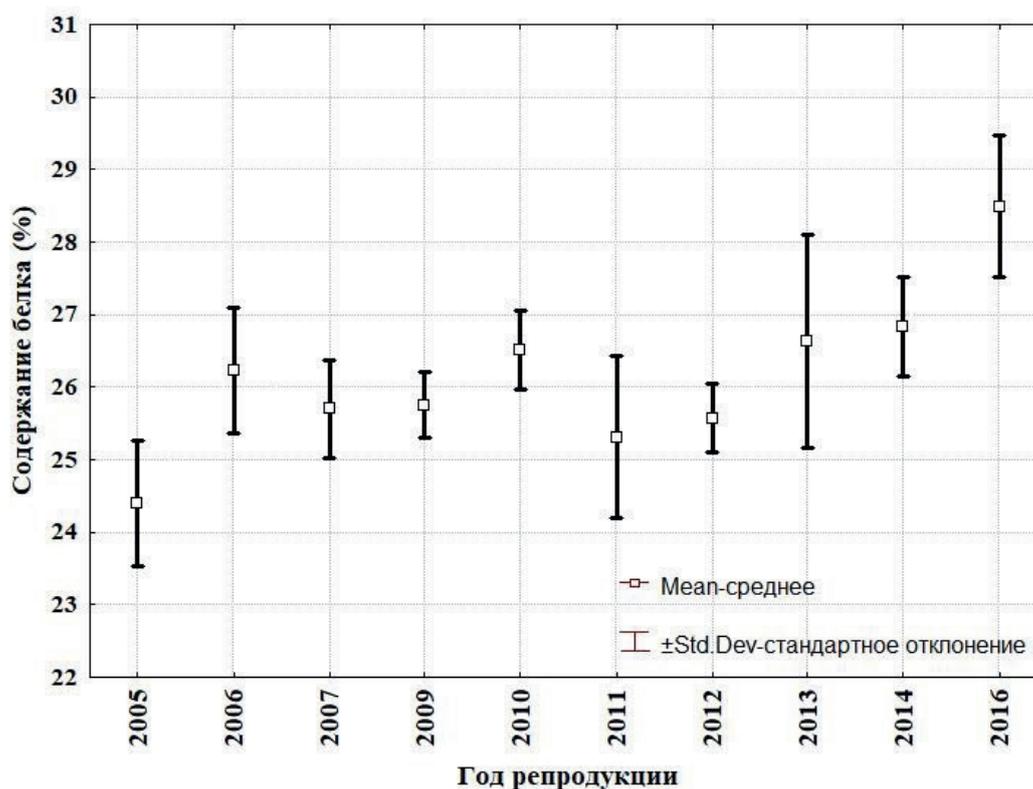


Рис. 2. Изменчивость содержания белка (%) в семенах у образцов фасоли обыкновенной разного года репродукции

Fig. 2. Variability of seed protein content (%) in common bean accessions depending on the year of reproduction

Для выявления общих закономерностей по культуре и возможных связей между рядом морфологических, хозяйственно ценных признаков и содержанием белка был проведен корреляционный анализ. Стабильных сильных взаимосвязей между этими признаками не обнаружено. Выявлены слабые связи между содержанием белка и генотипом ($r = 0,25$), годом репродукции ($r = 0,24$). Значимых взаимосвязей между содержанием белка и морфологическими ($-0,08 \leq r \leq 0,04$), хозяйственно ценными признаками ($-0,07 \leq r \leq 0,01$) найти не удалось. В то же время коэффициенты корреляции существенно отличались в зависимости от года выращивания. Так, для генотипов, выращенных в 2007 г., была характерна положительная корреляция с группой спелости ($r = 0,31$) и направлением использования ($r = 0,25$). У генотипов, репродуцированных в 2009 г., наблюдалась положительная корреляция с характером роста и типом куста ($r = 0,30$) и отрицательная – с группой спелости ($r = -0,24$). У образцов, изученных в 2010 г., отмечена положительная

корреляция между содержанием белка и генотипом ($r = 0,39$). В 2012 г. выявлены слабые положительные корреляции с направлением использования ($r = 0,28$) и отрицательные – с продуктивностью ($r = -0,23$). Оценка образцов, изученных в 2014 г., выявила положительные корреляции содержания белка с наличием пергаментного слоя ($r = 0,34$) и волокна ($r = 0,41$) в бобах. Кроме того, отмечены отрицательные корреляции с характером роста ($r = -0,64$), типом куста ($r = -0,65$), направлением использования ($r = -0,45$) и группой спелости ($r = -0,22$). Исследования показали изменчивость коэффициентов корреляции и зависимость связей от генотипа и условий среды. Общих закономерностей по изменчивости изученных параметров не обнаружено.

Для определения доли влияния значимых признаков был проведен однофакторный дисперсионный анализ. Результаты анализа показали, что генотип, происхождение и год репродукции достоверно влияли на анализируемый признак (табл. 3).

Таблица 3. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению влияния генотипа и года репродукции на содержание белка в семенах фасоли обыкновенной

Table 3. Results of a single-factor analysis of variance conducted to find out the effect of the genotype and the year of reproduction on protein content in bean seeds

Виды изменчивости	Df	SS	MS	F	p	Доля влияния
Генотип	164	1044,4	6,4	2,48	0,000000	70,16
Остаточная изменчивость	173	444,1	2,6			
Общая изменчивость	337	1488,5				
Происхождение	37	259,9	7,0	1,71	0,008075	17,46

Виды изменчивости	Df	SS	MS	F	p	Доля влияния
Остаточная изменчивость	300	1228,6	4,1			
Общая изменчивость	337	1488,5				
Год репродукции	9	215,1	23,9	6,16	0,000000	14,45
Остаточная изменчивость	328	1273,3	3,9			
Общая изменчивость	337	1488,5				

Df – число степеней свободы; SS – сумма квадратов; MS – среднее квадратичное отклонение; F – значение критерия Фишера; p – уровень значимости; генотип, происхождение, год репродукции – факториальная дисперсия; остаточная изменчивость – остаточная, случайная дисперсия; общая изменчивость – общая дисперсия

Df – number of degrees of freedom; SS – sum of squares; MS – standard deviation; F – F-test value; p – level of significance; genotype, origin, year of reproduction – factorial dispersion; residual variance – residual, random dispersion; general variance – general dispersion

Наибольшее влияние в наших исследованиях на изменчивость содержания белка в семенах оказывал генотип (70,2%) (рис. 3).

Морфологические и хозяйственно ценные признаки в нашем исследовании не влияли на содержание белка в семенах.

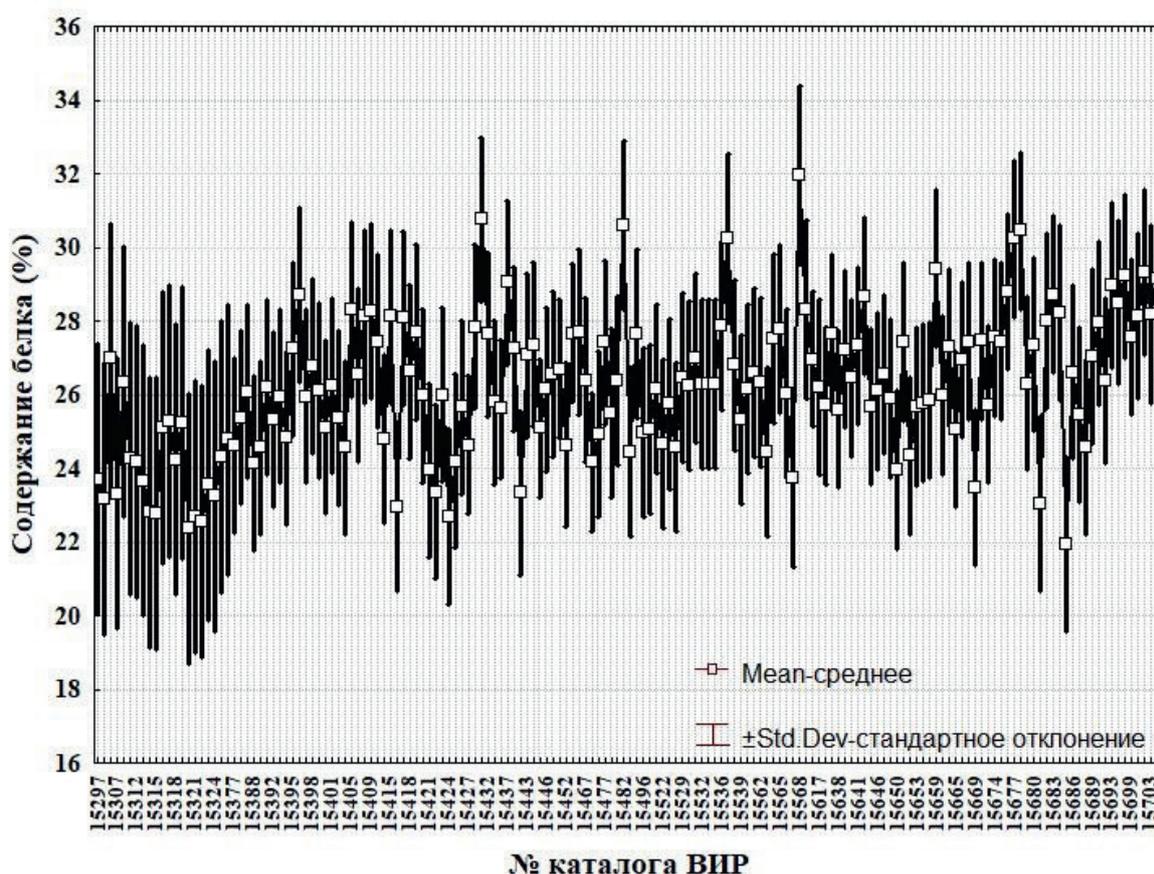


Рис. 3. Изменчивость содержания белка в семенах фасоли обыкновенной в зависимости от генотипа

Fig. 3. Variability of protein content in common bean seeds depending on the genotype

В результате изучения выделено 12 источников высокого содержания белка в семенах (выше 28% ежегодно). Описание этих образцов приводим ниже.

Источники высокого содержания белка

К-15299. Местный сорт. Получен из Вьетнама. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в техниче-

ской спелости зеленые, округлые в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам средне-спелой группы, от всходов до созревания 75–95 дней. Продуктивность 30–67 г/раст. Содержание белка в семенах 28,3%. Масса 1000 семян 200–210 г. Семена средне-мелкие, эллиптические, слабо почковидные, черные. Направление использования – зерновое.

K-15396. Albin. Получен из Чехии. Характер роста растений детерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеранней группы, от всходов до созревания 76–77 дней. Продуктивность 28–40 г/раст. Содержание белка 28,05–28,68%. Масса 1000 семян 220–270 г. Семена средние, округлые, белые. Направление использования – зерновое.

K-15431. Protecta. Получен из Германии. Характер роста растений детерминантный. Бобы в технической спелости желтые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеспелой группы, от всходов до созревания 79–89 дней. Продуктивность 21–28 г/раст. Содержание белка 29,3–30,8%. Масса 1000 семян 130–200 г. Семена средние, округлые, белые. Направление использования – комплексное.

K-15482. Purple Queen. Получен из Австралии. Характер роста растений детерминантный. Бобы в технической спелости зеленые с пигментацией, округло-плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеспелой группы, от всходов до созревания 80–88 дней. Продуктивность 19–24 г/раст. Содержание белка 28,7–31%. Масса 1000 семян 240–270 г. Семена средние, эллиптические, бежевые с серой мраморностью. Направление использования – комплексное.

K-15537. Сакфум. Получен из ВНИИССОК (Россия). Характер роста растений детерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоскоокруглые в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеранней группы, от всходов до созревания 76–79 дней. Продуктивность 21–35 г/раст. Содержание белка 28,8–30,3%. Масса 1000 семян 240–250 г. Семена средние, уплощенные, белые. Направление использования – овощное.

K-15568. Получен из Турции. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеспелой группы, от всходов до созревания 80–88 дней. Продуктивность 19–32 г/раст. Содержание белка 30,4–31,1%. Масса 1000 семян 320–370 г. Семена средние, округло-эллиптические, пестро-розовые. Направление использования – зерновое.

K-15677. Местный. Получен из Танзании. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеспелой группы, от всходов до созревания 83–89 дней. Продуктивность 8–14 г/раст. Содержание белка 29,7–30,5%. Масса 1000 семян 170–190 г. Семена средние, уплощенно-эллиптические, телесные. Направление использования – зерновое.

K-15678. Сахарная. Получен из Украины. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеспелой группы, от всходов до созревания 81–93 дня. Продуктивность 14–21 г/раст. Содержание белка 28,3–30,7%. Масса 1000 семян 220–240 г. Семена средние, эллиптические, белые. Направление использования – зерновое.

K-15693. Местная. Получен из Бразилии. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам позднеспелой группы, от всходов до созревания 90–98 дней. Продуктивность 15–21 г/раст. Содержание белка 29,6%. Масса 1000 семян 200–230 г. Семена средние, удлинненно-эллиптические,

вишневые. Направление использования – зерновое.

K-15698. Rosinha. Получен из Бразилии. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеспелой группы, от всходов до созревания 88–91 день. Продуктивность 16–24 г/раст. Содержание белка 28,3–31,4%. Масса 1000 семян 150–170 г. Семена мелкие, эллиптические, бежевые. Направление использования – зерновое.

K-15700. IPA 7419. Получен из Бразилии. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам позднеспелой группы, от всходов до созревания 90–98 дней. Продуктивность 18–21 г/раст. Содержание белка 28,2–29,0%. Масса 1000 семян 160–200 г. Семена мелкие, эллиптические, бежевые. Направление использования – зерновое. Выделился по устойчивости к вирусным и бактериальным заболеваниям.

K-15701. Омбор 24/3. Получен из Мексики. Характер роста растений индетерминантный. Бобы в технической спелости зеленые, плоские в поперечном сечении. По вегетационному периоду относится к сортам среднеспелой группы, от всходов до созревания 79–86 дней. Продуктивность 16–23 г/раст. Содержание белка 28,8–31,1%. Масса 1000 семян 200–240 г. Семена средне-мелкие, эллиптические, бежевые с серо-фиолетовой пестротой. Направление использования – зерновое.

Выводы

В результате биохимической оценки 166 образцов фа-соли обыкновенной выделено и описано 12 источников высокого содержания белка в семенах (> 28% ежегодно). Эти образцы рекомендуются для включения в селекционный процесс при создании новых сортов с целью улучшения качества семян.

Проведенный корреляционный анализ не выявил стабильных взаимосвязей морфологических и хозяйственно ценных признаков с содержанием белка.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали, что генотип, происхождение и год репродукции достоверно влияли на анализируемый признак. Содержание белка у исследованных образцов обусловлено, в основном, генетическими свойствами растений.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2019-0002 «Научное обеспечение эффективного использования мирового генофонда зернобобовых культур и их диких родичей из коллекции ВИР».

References/Литература

- Borovikov V.P. The Statistica program for students and engineers (Programma Statistica dlya studentov i inzhenerov). Moscow; 2001. [in Russian] (Боровиков В.П. Программа Statistica для студентов и инженеров. М.; 2001).
- Borovikov V.P., Borovikov I.P. Statistical analysis of data processing in Windows environment (Statistichesky analiz obrabotki dannyh v srede Windows). Moscow; 1998. [in Russian] (Боровиков В.П., Боровиков И.П. Статистический анализ обработки данных в среде

- Windows. M.; 1998).
- Budanova V.I., Lagutina L.V., Buravtseva T.V. Methodological guidelines. Studying accessions from the global collection of common bean (Metodicheskiye ukazaniya. Izucheniye obraztsov mirovoy kollektzii fasoli). Leningrad: VIR; 1987. [in Russian] (Буданова В.И., Лагутина Л.В., Буравцева Т.В. Методические указания. Изучение образцов мировой коллекции фасоли. Л.: ВИР; 1987).
- Budanova V., Lagutina L., Korneichuk V., Pastorec M., Uznic M., Gofirek P., Moravec I. The international COMECON list of descriptors for cultivated species of the genus *Phaseolus* L. (Mezhdunarodny klassifikator SEV kulturnykh vidov roda *Phaseolus* L.). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Буданова В., Лагутина Л., Корнейчук В., Пасторек М., Ужик М., Гофирек П., Моравец И. Международный классификатор СЭВ культурных видов рода *Phaseolus* L. Л.: ВИР; 1985).
- Buravtseva T.V., Burlyayeva M.O., Solovyeva A.E. Screening of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) samples from the VIR collection for breeding varieties with high protein content in seeds (Skринing obraztsov fasoli obyknovennoy (*Phaseolus vulgaris* L.) iz kollektzii VIR dlya selektzii sortov s vysokim soderzhaniyem belka v semenakh). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in the Agroindustrial Complex*. 2015;7:47-51. [in Russian] (Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Соловьева А.Е. Скрининг образцов фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) из коллекции ВИР для селекции сортов с высоким содержанием белка в семенах. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;7:47-51).
- FAOSTAT. 2017. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed Jan. 20, 2019).
- Vishnyakova M.A., Bulyntsev S.V., Buravtseva T.V., Burlyayeva M.O., Seferova I.V. et al. Collection of the world's genetic resources of grain legumes at VIR: replenishment, preservation and study. Methodological guidelines (Kollektsiya mirovykh geneticheskikh resursov zernovykh bobovykh kultur VIR: popolneniye, sokhraneniye i izucheniye. Metodicheskiye ukazaniya). St. Petersburg: VIR; 2010. [in Russian] (Вишнякова М.А., Булынцева С.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Сеферова И.В. и др. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых культур ВИР: пополнение, сохранение и изучение. Методические указания. СПб.: ВИР; 2010).

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Для цитирования/How to cite this article

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

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. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-44-50

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-44-50>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest
