

УДК 635.652.2:581.192

**Т. В. Буравцева,  
Г. П. Егорова,  
М. О. Бурляева,  
М. А. Никишкина**

Федеральный исследовательский центр  
Всероссийский институт генетических  
ресурсов растений  
имени Н. И. Вавилова,  
190000 Россия, г. Санкт-Петербург,  
ул. Б. Морская, д. 42, 44  
e-mail: t.buravtseva@vir.nw.ru

**Ключевые слова:**  
фасоль, коллекция, источники, ТИА,  
изменчивость, корреляционный  
анализ, дисперсионный анализ

**Поступление:**  
16.07.2018

**Принято:**  
19.09.2018

## АКТИВНОСТЬ ИНГИБИТОРОВ ТРИПСИНА В СЕМЕНАХ ФАСОЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PHASEOLUS VULGARIS L.*) ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР: ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ

**Актуальность.** Важным направлением в современной селекции фасоли является повышение качества зерна, в том числе и за счет снижения содержания антипитательных веществ, поэтому актуально выявление образцов, свободных от ингибиторов или содержащих их в минимальных количествах. Поиск образцов с высоким содержанием ингибиторов также является актуальным, так как ингибиторы играют важнейшую роль в функционировании основных биохимических механизмов, определяющих и регулирующих физиологическое состояние клетки. **Материалы и методы.** В статье приведены результаты биохимического и полевого скрининга 141 образца фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris L.*) из коллекции ВИР различного эколого-географического происхождения. Различные наборы образцов выращивались на филиале «Крымская опытно-селекционная станция ВИР» (г. Крымск) и научно-производственной базе «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Санкт-Петербург) в 2000–2003 гг. Полевое изучение хозяйственно ценных признаков проводилось по методике ВИР. ТИА определяли в биохимической лаборатории ВИР спектрофотометрическим методом. Статистический анализ (корреляционный и однофакторный дисперсионный) проводили в программе Statistica 7.0 (StatSoft, Inc., USA). **Результаты.** Оценка ТИА в семенах образцов фасоли показала, что среднее значение признака различалось в зависимости от страны происхождения и года изучения. Результаты корреляционного анализа показали, что величины коэффициентов корреляции были неустойчивы по годам изучения и не позволили выявить стабильных взаимосвязей между ТИА в семенах фасоли и метеорологическими условиями ( $-0,39 \leq r \leq 0,41$ ), морфологическими ( $0,03 \leq r \leq 0,23$ ) и хозяйственно ценными ( $-0,05 \leq r \leq 0,21$ ) признаками. Содержание ТИА в семенах, по результатам однофакторного дисперсионного анализа, в большей степени зависит от генетических свойств растений (доля влияния – 88,6%), в меньшей от погодных условий (12,24–20,16%), года репродукции (20,16%) и происхождения (18,87%), в незначительной степени от места репродукции (10,76%). **Выводы.** Выделено 8 источников низкой (< 7 мг/г) и 25 – высокой ТИА (> 13 мг/г). Также выделены образцы, сочетающие высокое содержание белка в семенах (> 30%) с низким (< 7 мг/г) или средним (7–9 мг/г) уровнем ТИА. Эти образцы могут быть в дальнейшем использованы для селекции. Наиболее низкое среднее значение ТИА отмечено для образцов из Азербайджана (7,55), Мадагаскара (8), Коста-Рики (8,05), Дании (8,98); высокой средней ТИА отличались образцы из Бутана (17,8), России (13,4), Кении (13,2), Швеции (12,97). В результате проведенного корреляционного анализа не было выявлено стабильных взаимосвязей метеорологических условий, морфологических и хозяйственно ценных признаков с ТИА. Содержание ТИА в основном обусловлено генетическими свойствами растений.

T. V. Buravtseva,  
G. P. Egorova,  
M. O. Burlyanova,  
M. A. Nikishkina

N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources,  
42, 44, Bolshaya Morskaya St.,  
St. Petersburg, 190000, Russia,  
e-mail: t.buravtseva@vir.nw.ru

**Key words:**

common bean, collection, sources, TIA, variability, correlation analysis, analysis of variance

**Received:**

16.07.2018

**Accepted:**

19.09.2018

## ACTIVITY OF TRYPSIN INHIBITORS IN COMMON BEAN SEEDS (*PHASEOLUS VULGARIS L.*) FROM THE VIR COLLECTION: VARIABILITY AND SOURCE MATERIAL FOR BREEDING

**Background.** An important trend in modern common bean breeding is the improvement of grain quality, including by reducing the content of anti-nutrients, so it is important to identify accessions that are free of inhibitors or contain minimal amounts of them. The search for samples with high content of inhibitors is also relevant, since inhibitors play a crucial role in the functioning of the basic biochemical mechanisms that determine and regulate the physiological state of the cell. **Materials and methods.** Presented here are the results of biochemical and field screening of 141 common bean accessions (*Phaseolus vulgaris L.*) of different ecogeographic origin from the collection of VIR. Various sets of accessions were grown at VIR's experimental stations – Krymsk Experiment Breeding Station, branch of VIR (Town of Krymsk); Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR (City of St. Petersburg) – in 2000–2003. Field study of economically valuable traits was carried out according to VIR's methods. Trypsin inhibitor activity (TIA) was calculated at the biochemical laboratory of VIR by spectrophotometry. The program Statistica 7.0. (StatSoft, Inc., USA) was used for statistical analysis. **Results.** TIA assessment in the seeds of common bean accessions showed that the mean value of the trait varied depending on the country of origin and the year of study. The results of the correlation analysis showed that the values of correlation coefficients were unstable over the years of study, and did not allow us to reveal stable relationships between TIA in bean seeds and meteorological conditions ( $-0.39 \leq r \leq 0.41$ ), morphological ( $0.03 \leq r \leq 0.23$ ) and economically valuable ( $-0.05 \leq r \leq 0.21$ ) traits. The analysis of variance showed that the content of trypsin inhibitors in seeds depends more on the genetic properties of plants (effect-size percentage is 88.6%), less on weather conditions (12.24–20.16%), the year of reproduction (20.16%) or origin (18.87%), and only to a small extent on the place of reproduction (10.76%). **Conclusions.** The study helped to find 8 sources of low TIA (< 7 mg/g), and 25 ones with high TIA (> 13 mg/g). Accessions combining high seed protein content (> 30%) with low (< 7 mg/g) or medium (7–9 mg/g) TIA levels were also identified. Those accessions can be included in future breeding programs. The lowest mean TIA values were observed in the accessions from Azerbaijan (7.55), Madagascar (8), Costa Rica (8.05), and Denmark (8.98), while high mean TIA was manifested by the accessions from Bhutan (17.8), Russia (13.4), Kenya (13.2), and Sweden (12, 97). The correlation analysis failed to reveal stable interrelations between TIA and meteorological conditions or morphological and economically valuable traits. The TIA level basically depends on the genetic properties of plants.

## Введение

Фасоль обыкновенная (*P. vulgaris* L.) как продовольственная культура ценится за свои вкусовые качества, которые обусловлены высоким содержанием белка (в среднем 23–26%). Однако в семенах фасоли содержатся антиметаболические компоненты, снижающие переваримость ее семян. К ним, в частности, относятся ингибиторы пищеварительных ферментов – трипсина и химотрипсина. Ингибиторы трипсина обнаружены в семенах всех видов фасоли. Содержание ингибиторов у фасоли обыкновенной составляет в среднем 10 мг/г. Коэффициент изменчивости трипсинингибирующей активности (ТИА) для *P. vulgaris* по сравнению с другими видами составляет значительную величину (до 35%) (Benken, 1975; Benken, Budanova, 1976). Ингибиторы фасоли относятся к группе двуглавых и проявляют близкую активность по отношению к обоим ферментам – трипсину и химотрипсину. Молекула такого ингибитора, благодаря наличию двух центров, ответственных за связывание трипсина и химотрипсина, может одновременно и независимо вступать в реакцию с обоими ферментами. Для характеристики антипротеолитического комплекса семян фасоли достаточно данных ингибирующей активности по отношению к одному из ферментов (Benken, 1996).

Литературных работ по этой теме немного. Петибская В. С. (Petibskaja, 2012) при изучении сои установила отсутствие зависимости между содержанием белка и ТИА. Также, по ее данным, ТИА не связана с массой семян, урожайностью и продолжительностью вегетационного периода, холодостойкостью, скоростью наклевывания и прорастания семян. Изменчивость ТИА у сои в большей степени зависит от особенностей сорта, чем от условий внешней среды. Некоторые авторы отмечают связь между активностью ингибиторов трипсина и окраской семян (Elias et al, 1979). Они установили, что у черных семян ТИА выше, чем у белых или красных. Другие авторы отмечают, что наибольшая активность ингибиторов трипсина наблюдалась у черных и бежевых семян. При этом связи между размером семян и ТИА авторы не выявили (Chávez-Mendoza, Sánchez, <http://www.mdpi.com/journal/molecules> (дата обращения: 25.04.2018)). Исследованиями ряда авторов (Benken, 1975; Benken, Budanova, 1976; Petibskaja, 1999, 2012; Zaitsev, 1987) установлено, что ингибиторы трипсина накапливаются в семенах по мере их созревания, в вегетативных частях они не обнаружены, а различия по содержанию протеолитических ингибиторов у видов и сортов сохраняются в различные годы выращивания; между белковостью и трипсинингибирующей активностью у образцов обыкновенной фасоли отмечен низкий коэффициент корреляции ( $r = 0,227$ ). Это свидетельствует об отсутствии взаимосвязи между этими величинами и, следовательно, о возможности совмещения высокой белковости с низким содержанием ингибиторов в процессе селекции.

Одно из важных направлений в современной селекции фасоли – повышение качества зерна, в том числе и за счет снижения содержания антипитательных веществ. Перспективным путем решения этой задачи является создание сортов, свободных от ингибиторов или содержащих их в минимальных количествах.

С другой стороны, ингибиторы играют важнейшую роль в функционировании основных биохимических механизмов, определяющих и регулирующих физиологическое состояние клетки. Они могут подавлять активность протеиназ ряда вредных насекомых и фитопатогенных микроорганизмов, повышать устойчивость к абиотическим стрессорам (Yarullina et al., 2016). Кроме того,

ингибиторы протеиназ могут использоваться для повышения устойчивости организма к радиации и лечения ряда заболеваний. Поэтому поиск образцов с высоким содержанием ингибиторов также является актуальным.

Результативность поиска сортов с необходимыми для селекции свойствами во многом определяется разнообразием и степенью изученности исходного материала. Резервом для выявления нужных для селекционной работы источников служит мировая коллекция фасоли ВИР, включающая более 7500 местных и селекционных сортов фасоли из 102 стран мира.

Скрининг образцов на содержание ингибиторов в семенах фасоли проводился в лаборатории биохимии ВИР до 2008 года. Было изучено более 700 образцов, выпущено 2 каталога (Benken et al., 1991; Buravtseva, Nikishkina, 2004), где представлены результаты изучения 562 образцов коллекции (1988–1999 гг. изучения).

**Целью** наших исследований было выделение исходного материала для селекции образцов с низкой и высокой ТИА. В задачи работы входило выделение образцов, сочетающих высокое содержание белка в семенах с низким или средним уровнем ТИА; выявление закономерностей изменчивости ТИА у образцов, характеризующихся разными морфологическими и хозяйственными ценными признаками в различных условиях выращивания.

## Материалы и методы

Исследования проведены в 2000–2003 гг. Материалом для них послужили образцы фасоли обыкновенной из мировой коллекции ВИР, не вошедшие в предыдущие каталоги и имеющие достоверную выборку для статистической обработки материала (141 образец).

**Таблица 1. Происхождение изученных образцов фасоли**  
**Table 1. Origin of the studied common bean accessions**

Континент (страна)	Число образцов	Страна
Россия	15	Россия – 15
Европа	93	Болгария – 49, Нидерланды – 4, Франция – 5, Венгрия – 3, Германия – 7, Дания – 5, Швеция – 12, Норвегия – 4, Украина – 4
Северная Америка	21	Канада – 11, США – 10
Южная Америка	2	Коста-Рика – 1, Эквадор – 1
Австралия	1	Австралия – 1
Африка	4	Кения – 1, Мадагаскар – 1, Танзания – 1, Бутан – 1
Азия	5	Азербайджан – 1, Китай – 2, Монголия – 2

Различные наборы образцов изучали в полевых условиях на филиале «Крымская опытно-селекционная станция ВИР» (г. Крымск, Краснодарский край; 2000, 2001, 2003 гг.) и научно-производственной базе «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Пушкин, Ленинградская обл.; 2002, 2003 гг.). Агротехника общепринятая для зоны выращивания. Изучение хозяйственными ценными признаками осуществляли согласно методике ВИР (Budanova et al., 1987; Vishnyakova et al., 2010). Трипсинингирующую активность определяли в биохимической лаборатории ВИР спектрофотометрическим методом, используя в качестве субстрата казеин, и выражали в миллиграмммах (мг) связанного трипсина (с поправкой на активный фермент) в расчете на 1 г семян в соответствии с Методическими указаниями ВИР (Budanova et al., 1984). Градацию образцов по уровню активности ингибиторов

трипсина проводили, разбив материал на 3 группы: низкоингибиторные (ТИА ниже 7 мг/г), среднеингибиторные (ТИА варьирует от 7 до 13 мг/г) и высокоингибиторные сорта (выше 13 мг/г). Изучали селекционные и местные сорта различного географического происхождения (табл. 1). Больше всего образцов было проанализировано из Болгарии (49 обр.), России (15 обр.), Швеции (12 обр.), Канады (11 обр.), США (10 обр.), Германии (7 обр.).

Для статистической обработки результатов была сформирована база данных (БД), включающая следующие признаки: активность ингибиторов трипсина, содержание белка, метеоданные за годы исследований, показатели ряда хозяйствственно ценных признаков (характер роста, тип куста, окраска семян и незрелого боба, группа спелости, продуктивность и направление использования). Хозяевственными ценностями признаками при внесении в БД кодировали в соответствии с классификатором ВИР (Budanova et al, 1985). Контролируемые метеоданные включали среднюю температуру воздуха (ежемесячную), количество суток с осадками, относительную влажность воздуха (Gavrishev A. N., [http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate\\_russia-III\\_agro.html](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate_russia-III_agro.html) (дата обращения: 25.04.2018); осадки в мм за месяц, среднюю температуру воздуха (ежедневную) (ФГБУ "ВНИГМИ-WDC" <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения: 25.04.2018)). Метеоданные по Краснодарскому краю (г. Крымск) взяты с указанных интернет-сайтов, показатели среднесуточной температуры воздуха для подсчета активных температур по Ленинградской области (г. Пушкин) предоставлены Л. Ю. Новиковой (группа агрометеорологии ВИР). Сумму активных температур определяли путем сложения ежедневных температур (выше 10 градусов) за вегетационный период.

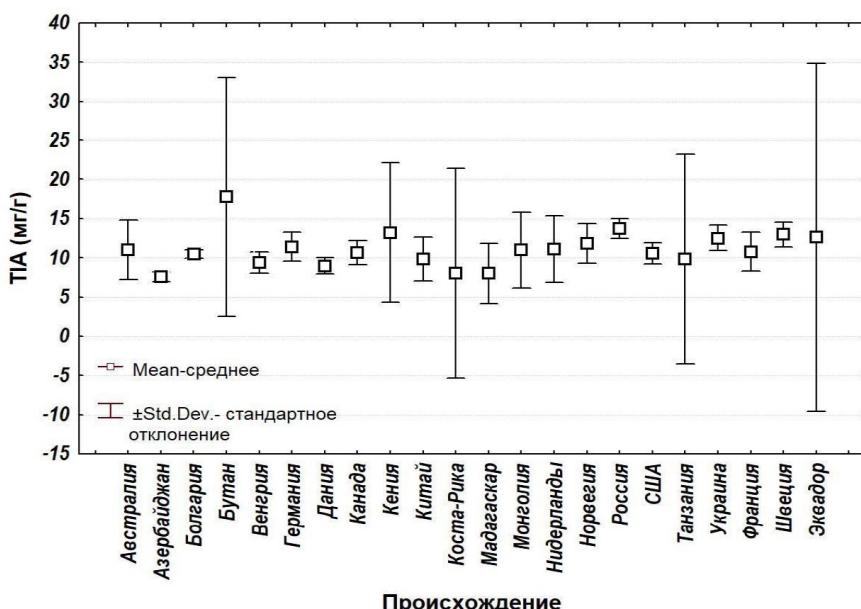


Рис. 1. Изменчивость содержания ТИА (мг/г) в семенах фасоли у образцов разного происхождения

Fig. 1. Variability of TIA levels (mg/g) in common bean seeds in accessions of different origin

Статистический анализ проводили в программе Statistica 7.0 (StatSoft, Inc., USA). Исследовали изменчивость корреляций между активностью ингибиторов трипсина, содержанием белка в семенах, морфологическими и хозяйствственно ценностными признаками в зависимости от погодных условий, места репродукции

и генотипа образцов. Достоверность влияния перечисленных факторов на ТИА определяли с помощью однофакторного и многофакторного дисперсионного анализа (Vishnyakova et al, 2010; Borovikov, Borovikov, 1998; Borovikov, 2001).

## Результаты

В наших исследованиях активность ингибиторов трипсина в семенах фасоли изменялась от 4,6 до 24,3 мг/г; среднее значение составило 11,2 мг/г. Величина этого показателя различалась в зависимости от страны происхождения. Наиболее низкое среднее значение ТИА (рис. 1) отмечено для образцов из Азербайджана (7,55), Мадагаскара (8), Коста-Рики (8,05), Дании (8,98); высокой средней ТИА отличались образцы из Бутана (17,8), России (13,4), Кении (13,2), Швеции (12,97).

Активность ингибиторов трипсина в семенах фасоли изменялась также и по годам изучения. Наиболее низкой она была в 2001 г. (9,06 мг/г), наиболее высокой – в 2003 г. (12,92 мг/г). Место репродукции на содержание ингибиторов (Пушкин – 6,7–24,3, Крымск – 4,6–22,1 мг/г) влияло незначительно. По итогам двухлетних исследований было выделено 8 источников низкой и 25 – высокой ТИА (табл. 2).

**Таблица 2. Источники низкой и высокой активности ингибиторов (мг/г) в семенах фасоли**  
**Table 2. Sources of low and high TIA (mg/g) in common bean seeds**

№ по каталогу ВИР	Название	Происхождение	Активность ингибиторов, мг/г
Источники низкой активности ингибиторов в семенах фасоли (< 7 мг/г)			
11014	Местный	Болгария	5,6–5,9
11018	Местная	Болгария	6,2–6,4
15077	–	Азербайджан	5,0–6,8
15181	Amazone	Франция	6,1–5
15201	Novostar	Нидерланды	6,2–6,8
15202	Autan	Нидерланды	6,2–6,8
15220	–	Канада	6,2–6,5
15226	C 8801-F2-LF-67-34 Pink	Канада	4,6–4,7
Источники высокой активности ингибиторов в семенах фасоли (> 13 мг/г)			
4	–	Украина	13,2–13,9
57	–	Россия	13,4–14,7
3115	Extra Early Red Valentine	Канада	15,0–5,4
7335	Stella	Швеция	17,1–24,3
7336	Apollo	Швеция	15,6–16,3
7410	Kryp-Sniffébonne Svaerd	Норвегия	13,4–18,1
9333	Br.3	Болгария	14,1–14,3
11005	Никос	Болгария	16,5–16,8
11019	–	Болгария	14,2–14,3
11845	–	Болгария	13,3–14,2
11853	–	Болгария	13,3–13,6
12018	Drabant	Швеция	17,9–19,2
13383	Isex	Франция	13,3–14,2
14279	Ока	Россия	13,1–15,4
14395	Exrico	Канада	13,6–14,3
14719	–	Россия	15,4–15,6
14720	–	Россия	15,2–20,2
15179	Strogele (i v t)	Нидерланды	21,1–22,1
15186	Местная	Россия	15,1–18,7
15210	Erntesegen	Германия	14,2–16,2
15223	Belmidak-RR-1	США	15,3–15,8
15238	Уфимская	Россия	13,8–14,6
15253	Borlotto	Бутан	16,6–19,0
15254	Meridional	Германия	15,9–20,9
15373	Шубинская	Россия	18,8–22,8

**Таблица 3. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по выявлению  
влияния генотипа, происхождения, года, места репродукции  
и погодных условий на ТИА в семенах фасоли**

**Table 3. Results of the analysis of variance determining the effect of genotype, origin, year,  
place of reproduction and weather conditions on TIA in common bean seeds**

Виды изменчивости	Df	SS	MS	F	p	Доля влияния
Генотип	140	2831,89	20,23	8,17	0,000000	88,60
Остаточная изменчивость	147	364,14	2,48			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Происхождение	21	603,18	28,72	2,947	0,000030	18,87
Остаточная изменчивость	266	2592,84	9,75			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Год репродукции	3	644,32	214,77	23,904	0,000000	20,16
Остаточная изменчивость	284	2551,71	8,98			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Место репродукции	1	343,93	343,93	34,488	0,000000	10,76
Остаточная изменчивость	286	2852,09	9,97			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Среднесуточная температура в июне	2	391,45	195,73	19,890	0,000000	12,24
Остаточная изменчивость	285	2804,57	9,84			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Среднесуточная температура в июле	4	644,46	161,11	17,87	0,00	20,16
Остаточная изменчивость	283	2551,57	9,02			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Среднесуточная температура в августе	4	644,46	161,11	17,87	0,00	20,16
Остаточная изменчивость	283	2551,57	9,02			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Осадки в июле	4	644,46	161,11	17,87	0,00	20,16
Остаточная изменчивость	283	2551,57	9,02			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Осадки в августе	3	396,95	132,32	13,425	0,000000	12,42
Остаточная изменчивость	284	2799,07	9,86			
Общая изменчивость	287	3196,02				
Среднесуточная влажность воздуха в июле	3	482,24	160,75	16,822	0,000000	15,09
Остаточная изменчивость	284	2713,78	9,56			
Общая изменчивость	287	3196,02				

Примечание: Df – число степеней свободы, SS – сумма квадратов, MS – среднеквадратичное отклонение, F – значение критерия Фишера, p – уровень значимости, генотип, происхождение, год, место репродукции и погодные условия – факториальная дисперсия, остаточная изменчивость – остаточная, случайная дисперсия, общая изменчивость – общая дисперсия

В итоге изучения были выделены образцы, сочетающие высокое содержание белка в семенах ( $> 30$ ) с низким ( $< 7$ ) уровнем ТИА (к-11018, 'Местная', Болгария; к-15202, 'Autan', Нидерланды; к-15226, 'С 8801-F2-LF-67-34 Pink', Канада) или средним (7–9 мг/г) (к-11009, 'Руце 159', Болгария; к-14598, 'Haromfa 11-10-2481', Болгария; к-15205, 'Buch Blue Lake 141', США; к-15208, 'Empress', США; 15218, 'Tamaulipas 3', пол. Германия; к-15227, 'Arbolito-Ligero', Коста-Рика; к-15236, 'Лада', Россия). Эти образцы могут быть использованы для селекции фасоли с высоким качеством семян.

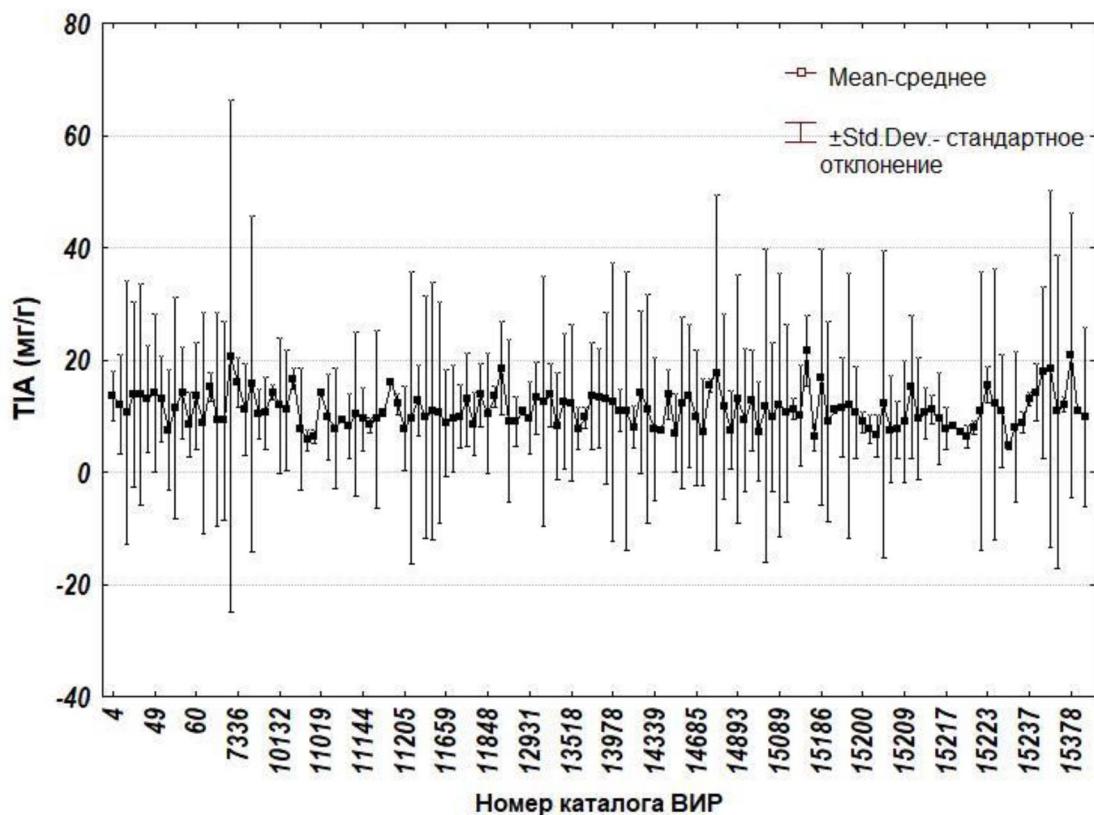
Результаты анализа, проведенного для выявления возможных связей между изменчивостью показателей метеоусловий и активностью ингибиторов трипсина, свидетельствуют о том, что величины коэффициентов корреляции были неустойчивы по годам изучения и месту репродукции. Стабильных сильных взаимосвязей ( $-0,88 \leq r \leq 0,90$ ) между этими признаками не обнаружено. Коэффициент корреляции между активностью ингибиторов трипсина и изученными параметрами равнялся: с количеством суток с осадками ( $r = 0,26$ ), с суммой осадков в мм ( $r = 0,14$ ), с повышенной влажностью ( $r = 0,29$ ), со средними температурами ( $r = -0,34$ ) и суммой активных температур ( $r = -0,34$ ). Следует отметить, что различные образцы (генотипы) фасоли по-разному реагировали на изменения среды. Однако значимых взаимосвязей между активностью ингибиторов трипсина, морфологическими ( $-0,13 \leq r \leq 0,33$ ) и хозяйственно ценными признаками ( $-0,23 \leq r \leq 0,31$ ) не удалось найти. Для генотипов, выращенных в Крымске в 2001 году, была характерна положительная корреляция с окраской семян ( $r = 0,33$ ) и типом использования ( $r = 0,26$ ). У генотипов, репродуцированных в Крымске в 2003 году, наблюдалась положительная корреляция с окраской семян ( $r = 0,21$ ), окраской бобов ( $r = 0,24$ ) и типом использования (овощным, зерновым) ( $r = 0,31$ ). У образцов, анализируемых в полевых условиях в Пушкине (2002, 2003 гг.), подобных корреляций не было, можно отметить только отрицательные корреляции с вегетационным периодом ( $r = -0,23$ ,  $-0,11$ ). Исследования показали изменчивость коэффициентов корреляции и зависимость связей от генотипа и условий среды. Общих закономерностей по изменчивости изученных параметров и по влиянию на них условий культивирования также не было обнаружено.

Оценку достоверности влияния погодных условий, происхождения, генотипа, места и года репродукции на ТИА в семенах проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа (табл. 3).

Наибольшее влияние в наших исследованиях на изменчивость ТИА в семенах оказывал генотип (88,6 %) (рис. 2).

Год репродукции достоверно влиял на содержание ингибиторов, доля влияния 20,2%. Доля влияния происхождения образцов составила 18,9%. Место репродукции незначительно (доля влияния 10,8%). Среднесуточная температура в июле, в августе и осадки в июле достоверно влияли на ТИА (доля влияния 20,16%). Дисперсионный анализ показал, что доля влияния среднесуточной влажности воздуха в июле составила 15,09%, а доля влияния осадков в августе и температуры в июне – 12,42 и 12,24% соответственно. Обобщенные данные по изменчивости ТИА в семенах в разные годы исследований в зависимости от среднесуточной температуры в июле и августе, суммы осадков в июле представлены на рисунке 3.

Таким образом, в наших исследованиях температура, осадки и влажность оказывали достоверное влияние на ТИА в семенах.



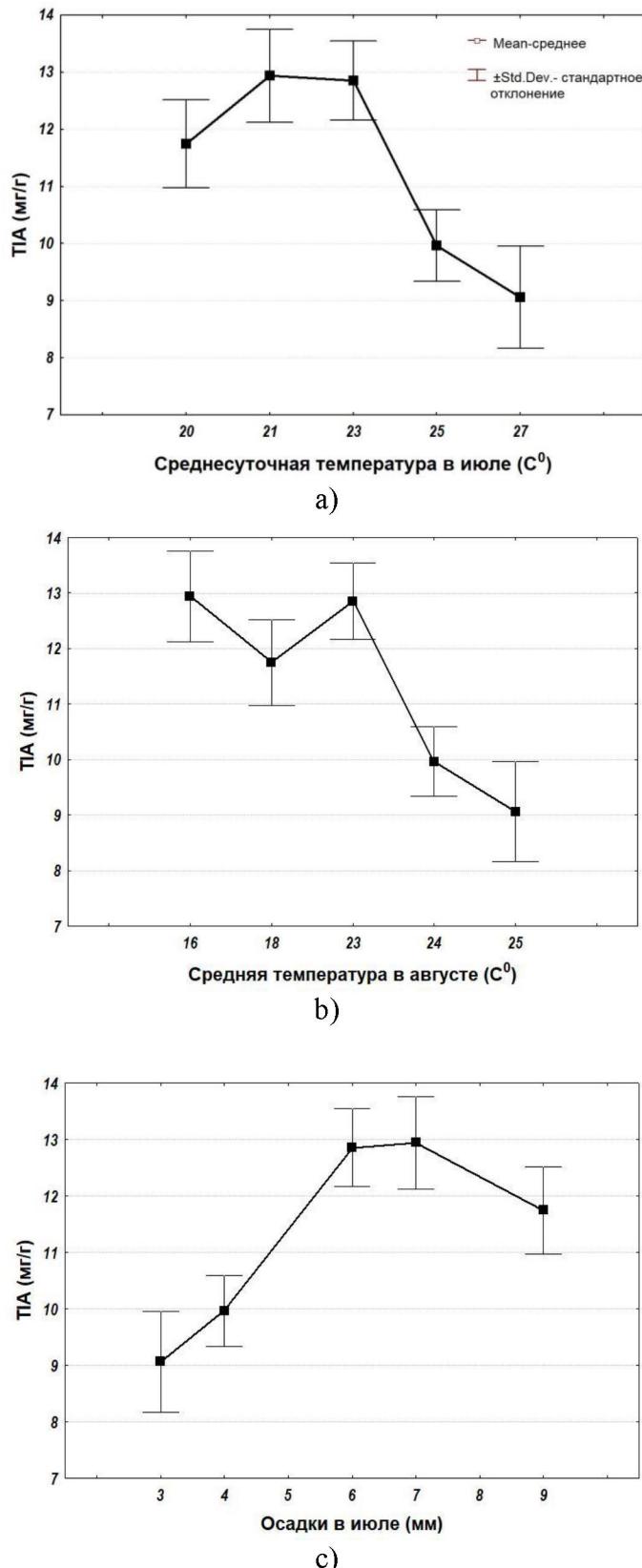
**Рис. 2. Изменчивость ТИА в семенах фасоли в зависимости от гентипа**  
**Fig. 2. Variability of TIA in common bean seeds depending on the genotype**

### Выводы

По итогам двухлетних исследований было выделено 8 источников низкой ( $< 7 \text{ мг/г}$ ) (к-11014, к-11018, к-15077, к-15181, к-15201, к-15220, к-15226) и 25 – высокой ТИА ( $> 13 \text{ мг/г}$ ) (к-4, к-57, к-3115, к-7335, к-7336, к-7410, к-11005, к-11019, к-11845, к-11853, к-12018 и др.). Также выделены образцы, сочетающие высокое содержание белка в семенах ( $> 30\%$ ) с низким ( $< 7 \text{ мг/г}$ ) (к-11018, к-15202, к-15226) или средним ( $7-9 \text{ мг/г}$ ) (к-11009, к-14598, к-15205, к-15208, к-15218, кк- 15227, к-15236) уровнем ТИА. Эти образцы могут быть в дальнейшем использованы для селекции.

Анализ 141 образца фасоли показал, что активность ингибиторов трипсина в семенах фасоли различалась в зависимости от страны происхождения. Наиболее низкое среднее значение ТИА отмечено для образцов из Азербайджана (7,55), Мадагаскара (8), Коста-Рики (8,05), Дании (8,98); высокой средней ТИА отличались образцы из Бутана (17,8), России (13,4), Кении (13,2), Швеции (12,97).

В результате проведенного корреляционного анализа не было выявлено стабильных взаимосвязей метеорологических условий, морфологических и хозяйствственно ценных признаков с ТИА. Содержание ТИА, как показал однофакторный дисперсионный анализ, в большей степени зависит от генетических свойств растений (доля влияния – 88,6%), в меньшей от погодных условий (12,24–20,16%), года репродукции (20,16%) и происхождения (18,87%), в незначительной степени от места репродукции (10,76%).



**Рис. 3. Изменчивость ТИА в семенах фасоли в зависимости от среднесуточной температуры в июле (а) и августе (б); осадков в июле (с)**  
**Fig. 3. Variability of TIA in common bean seeds depending on mean daily temperatures in July (a) and August (b), and precipitation in July (c)**

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2018-0013 «Развитие теоретических основ ботаники, филогении, систематики, генетики, физиологии, биохимии культурных растений и разработка традиционных и современных молекулярных методов оценки растительных ресурсов по признакам качества, устойчивости к абиотическим и биотическим стрессорам и другим хозяйственно важным признакам», номер государственной регистрации ЕГИСУ НИОКР AAAA-A16-116040710370-0.

## References/Литература

- Benken I. I. Biochemical indicators of nutritional value of common beans from the collection of VIR (Biohimicheskie pokazateli pitatel'noj cennosti fasolii zkollekci VIRA.) // N.-tekhn. byull. – Scientific and technical bulletin. Orel: VNIIZBK, 1996, iss. 42, pp. 61–65 [in Russian] (Бенкен И. И. Биохимические показатели питательной ценности фасоли из коллекции ВИРа // Н.-техн. бюлл. Орел: ВНИИЗБК. 1996. Вып. 42. С. 61–65).
- Benken I. I. Variability of the content of trypsin inhibitors in common bean seeds (Izmenchivost' soderzhaniya ingibitorov tripsina v semenah fasoli) // Sbornik «Selekcija, semenovodstvo i priemy vozdelivaniya fasoli» – Proceedings "Selection, seed production and methods of cultivation of common beans". Orel : VNIIZBK, 1975, pp. 137–143 [in Russian] (Бенкен И. И. Изменчивость содержания ингибиторов трипсина в семенах фасоли // Сборник «Селекция, семеноводство и приемы возделывания фасоли». Орел : ВНИИЗБК, 1975. С. 137–143).
- Benken I. I., Budanova V. I. Inhibitors of trypsin in common bean seeds // Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding. 1976, vol. 56, iss. 3, pp. 67–73 [in Russian] (Бенкен И. И., Буданова В. И. Ингибиторы трипсина в семенах фасоли. // Сборник трудов по прикл. бот., ген. и сел. 1976. Т. 56, вып. 3. С. 67–73).
- Benken I. I., Petrova M. V., Lagutina L. V., Nikishkina M. A., Vlasov V. A., Kolotilova A. S. / Ed. A. V. Konarev. Catalog of the world collection of VIR. Common beans. Activity of trypsin inhibitors, protein content in seeds and other economically valuable signs (Katalog mirovoj kollekcii VIR. Fasol'. Aktivnost' ingibitorov tripsina, soderzhanie belka v semenah i drugie hozyajstvennoe priznaki). Leningrad : VIR, 1991, iss. 745, 31 p. [in Russian] (Бенкен И. И., Петрова М. В., Лагутина Л. В., Никишина М. А., Власов В. А., Колотилова А. С. / Под ред. А. В. Конарева. Каталог мировой коллекции ВИР. Фасоль. Активность ингибиторов трипсина, содержание белка в семенах и другие хозяйственно ценные признаки. Л. : ВИР. 1991. Вып. 593. 31 с.).
- Borovikov V. P. The Statistica program for students and engineers. (Programma Statistica dlya studentov i inzhenerov) Moscow, 2001, 300 p. [in Russian] (Боровиков В. П. Программа Statistica для студентов и инженеров. М., 2001. 300 с.).
- Borovikov V. P., Borovikov I. P. Statistical analysis of data processing in Windows environment (Statisticheskij analiz obrabotki dannyh v srede Windows). Moscow, 1998, 583p. [in Russian] (Боровиков В. П., Боровиков И. П. Статистический анализ обработки данных в среде Windows. М., 1998. 583 с.).
- Budanova V. I., Lagutina L. V., Buravtseva T. V. Methodical guidelines. The study of samples of the world collection of beans (Metodicheskie ukazaniya. Izuchenie obrazcov mirovoj kollekcii fasoli L.). Leningrad : VIR, 1987, 28 p. [in Russian] (Буданова В. И., Лагутина Л. В., Буравцева Т. В. Методические указания. Изучение образцов мировой коллекции фасоли. Л. : ВИР, 1987. 28 с.).
- Budanova V., Lagutina L., Korneichuk V., Pastorec M., Uznice M., Gofirek P., Moravec I. The international comecon list of descriptors for cultivated species of the genus Phaseolus L. Leningrad : VIR, 1985. 45 p. [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. 45 с.).
- Buravtseva T. V., Nikishkina M. A. / Ed. M. A. Vishnyakova. Catalog of the world collection of VIR. Common beans (Characteristics of samples on the activity of trypsin inhibitors, protein content in seeds and other economically valuable traits) (Katalog mirovoj kollekcii VIR. Fasol' (Harakteristika obrazcov po aktivnosti ingibitorov tripsina, soderzhaniyu belka v semenah i drugim hozyajstvennym priznakam). St. Petersburg : VIR, 2004, iss 745, 21 p. [in Russian] (Буравцева Т. В., Никишина М. А. / Под ред. М. А. Вишняковой. Каталог мировой коллекции ВИР. Фасоль

- (Характеристика образцов по активности ингибиторов трипсина, содержанию белка в семенах и другим хозяйствственно ценным признакам). СПб. : ВИР, 2004. Вып. 745, 21 с.).
- Chávez-Mendoza C., Sánchez E. Bioactive Compounds from Mexican Varieties of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for Health // *Molecules*, Open Access Journal – 2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mdpi.com/journal/molecules> (дата обращения: 25.04.2018).
- Elias L. G., Fernandez D. G., Bressani R. Possible effects of seed coat polyphenolics on the nutritional quality of bean protein. *Journal of Food Science*, 1979, 44, pp. 524–527.
- Gavrishev A. N. Climate of Russian cities (Klimat gorodov Rossii) // atlas-yakutia.ru Russia – [Electronic resource] URL: [http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate\\_russia-III\\_agro.html](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate_russia-III_agro.html) (reference date: 25.04.2018). [in Russian] (Гавришев А. Н. Климат городов России // atlas-yakutia.ru Россия – [Электронный ресурс] URL: [http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate\\_russia-III\\_agro.html](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/climate_russia-III_agro.html) (дата обращения: 25.04.2018)).
- FGBU "VNIIGMI-WDC" Technology of Aisori: site of technology (FGBU «VNIIGMI-MCD» Tekhnologii Aisori: sajt tekhnologii) <http://aisori.meteo.ru/it/ClimateR> <http://meteo.ru/it/178-aisori> // Unified State Data Fund – 2018 – [Electronic resource] URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (reference date: 04/25/2018) [inRussian] (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Технологии Аисори: сайт технологии <http://aisori.meteo.ru/it/ClimateR> <http://meteo.ru/it/178-aisori> // Единый Государственный Фонд Данных – 2018 – [Электронный ресурс] URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения: 25.04.2018)).
- Petibskaya V. S. Soybean: chemical composition and use / Ed. V. M. Lukomets. (Soya: himicheskij sostav i ispol'zovanie). Maikop : OJSC "Polygraph-South", 2012, p. 25 [in Russian] (Петибская В. С. Соя: химический состав и использование / Под ред. акад. РАСХН д-ра с/х наук В. М. Лукомца. Майкоп : ОАО «Полиграф-ЮГ», 2012. С. 25).
- Petibskaya V. S. Inhibitors of proteolytic enzymes (Ingibitory proteoliticheskikh fermentov). // Proceedings of high schools. Food technology. 1999, № 5/6, pp. 6–10 [in Russian] (Петибская В. С. Ингибиторы протеолитических ферментов // Известия Вузов. Пищевая технология. 1999. № 5/6. С. 6–10).
- Vishnyakova M. A., Bulyntsev S. V., Buravtseva T. V., Burlaeva M. O., Seferova I. V., Aleksandrova T. G., Yan'kov I. I., Egorova G. P., Gerasimova T. V., Drugova E. V. and etc. Collection of world genetic resources of grain legumes VIR: replenishment, preservation and study. Methodical guidelines (Kollekciya mirovyh geneticheskikh resursov zernovyh bobovyh kul'tur VIR: popolnenie, sohranenie i izuchenie. Metodicheskie ukazaniya) / St. Petersburg : VIR, 2010, 141 p. [in Russian] (Вишнякова М. А., Булынцев С. В., Буравцева Т. В., Бурляева М. О., Сеферова И. В., Александрова Т. Г., Яньков И. И., Егорова Г. П., Герасимова Т. В., Другова Е. В. и др. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых культур ВИР: пополнение, сохранение и изучение. Методические указания. СПб. : ВИР, 2010. 141 с.).
- Yarosh N. P., Benken I. I. Determination of biologically active substances of seeds. Methodological guidelines. (Opredelenie biologicheskikh aktivnyh veshchestv semyan. Metodicheskie ukazaniya). Leningrad : VIR, 1984, 74 p. [in Russian] (Ярош Н. П., Бенкен И. И. Определение биологически активных веществ семян. Методические указания. Л. : ВИР, 1984. 74 с.).
- Yarullina L. G., Akhatova A. R., Kasimova R. I. Hydrolytic enzymes and their protein inhibitors in the regulation of plant interactions with pathogens (Gidroliticheskie fermenty i ih belkovye ingibitory v reguliacii vzaimootnoshenij rastenij s patogenami.) // *Fiziologiya rastenii* – Russian Journal of Plant Physiology, 2016, vol.63, no. 2, pp. 205–217 [in Russian] (Яруллина Л. Г., Ахатова А. Р., Касимова Р. И. Гидролитические ферменты и их белковые ингибиторы в регуляции взаимоотношений растений с патогенами // Физиология растений. 2016. Т. 63, № 2. С. 205–217).
- Zaitsev V. N. The selection value of common bean samples of various origins in the conditions of the south of the Non-chernozem zone of the RSFSR (Selekcionnaya cennost' obrazcovf asoli razlichnogo proiskhozhdeniya v usloviyah yuga Nechernozemno zony RSFSR: diss. ... kand. s.-kh. nauk). Orel, 1987, 79 p. ([in Russian] (Зайцев В. Н. Селекционная ценность образцов фасоли различного происхождения в условиях юга Нечерноземной зоны РСФСР: дисс. на соиск. уч. ст. канд. с.-х. наук. Орел, 1987. 79 с.).