

НАКОПЛЕНИЕ СЫРОГО БЕЛКА ОБРАЗЦАМИ СОИ ОВОЩНОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

Д.Р. Шафигуллин^{1,2}, М.С. Гинс^{1,2}, член-корреспондент РАН,
Е.П. Пронина¹, Е.В. Романова², кандидаты сельскохозяйственных наук,
А.В. Солдатенко¹, член-корреспондент РАН

¹Федеральный научный центр овощеводства,
143080, Московская область, Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14
²Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
E-mail: shafigullin89@yandex.ru

Применение спектрофотометрического метода анализа дало возможность изучить и дать оценку содержанию сырого белка в листьях и семенах важнейшей бобовой культуры – сои овощной, которую используют в функциональном и здоровом питании. Селекционные формы культивировали на опытном поле и в защищенном грунте Федерального научного центра овощеводства в Московской области. Впервые в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России (55° с.ш.) за 3 года изучено накопление сырого протеина в семенах сои овощного типа в фазе биологической спелости. Существенных различий между формами сои овощной и масличной направленности по содержанию белка в листьях в фазе технической спелости не отмечено (в среднем у овощных образцов оно составило 8,1%). В фазе технической спелости образцы аккумулировали белок в семенах почти на одном уровне – 25,7-28,4%. По данным трех лет наблюдений, в фазе биологической спелости соя овощного типа накапливала более высокую (на 15,7% в относительных значениях) сумму белков в семенах благодаря наследственным факторам. Наибольшим содержанием сырого протеина в семенах характеризовались селекционные линии Образец А, Hidaka, Cha Kura Kake со средним значением 47,4% (в абсолютных числах). У форм сои овощного типа в изучаемых условиях отмечено значительное накопление сырого протеина в листьях и семенах в обе фазы генеративного развития растений, что может иметь большие перспективы для использования этих образцов в производстве высокобелковых функциональных продуктов питания.

ON THE RAW PROTEIN ACCUMULATION BY SAMPLES OF SOYBEAN VEGETABLE TYPE IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL AREA OF THE NON-BLACK-ZONE

Shafigullin D.R.^{1,2}, Gins M.S.^{1,2}, Pronina E.P.¹, Romanova E.V.², Soldatenko A.V.¹

¹Federal Scientific Vegetable Center,
143080, Moskovsraata oblast, Odinzovskiy rayon, p. VNISSOK, ul. Seleccionnaya, 14
²Peoples' Friendship University of Russia,
117198, Moskva, ul. Miklukho-Maklaya, 6
E-mail: shafigullin89@yandex.ru

The use of the spectrophotometric analysis method made it possible to study and evaluate the content of crude protein in the leaves and seeds of the vegetable soybean, which is used in functional and healthy nutrition. Breeding forms were cultivated in the experimental field and in the greenhouse of the Federal Scientific Vegetable Center in the Moscow Region. For the first time in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem Zone, accumulation of crude protein in seeds of soybean of vegetable type in the phase of biological ripeness was studied in 3 years. It was found that there were almost no significant differences in the protein content in the leaves between the vegetable and oilseed breeding forms, averaging 8.1% in the first ones in the phase of R6. The samples possessed protein accumulation at almost the same level - 25.7-28.4% in soybean seeds in R6. It was also found that, according to three years of observation, soybean of vegetable type accumulates a higher - by 15.7% (in relative values) - the amount of protein in the seeds in the phase of biological ripeness, which is explained by hereditary reasons. The lines of Sample A, Hidaka, Cha Kura Kake with an average value of 47.4% (in absolute numbers) excelled in the highest crude protein content in seeds. Vegetable soybean forms grown in the Central Russia (55°N) have shown significant accumulation of crude protein in leaves and seeds in both phases of the generative development of plants; the use of these samples in the production of high-protein functional food products has great prospects.

Ключевые слова: соя овощная, *Glycine max* L., протеин, белок, эдамаме, функциональные продукты

Key words: vegetable soybean, *Glycine max* L., protein, edamame, functional products

Соя – одна из самых высокобелковых культур [1-3]. Ее белок сбалансирован по содержанию незаменимых аминокислот и обладает высокой биологической питательной ценностью. Он может быть использован в виде добавки для улучшения других растительных белков с низкой биологической ценностью, например, запасных белков злаковых растений, а также отдельно в виде пищевых добавок для питания спортсменов, функционального и здорового питания [4-6].

Исследование биохимических процессов созревания семян сои позволяет сделать вывод о том, что запасные белки в бобах *Glycine max* L. образуются из аминокислот и амидов, поступающих из вегетативных органов растений. С наступлением периода генеративного развития растений в них проявляются процессы гидролиза и происходит отток образующихся соединений обмена веществ в плоды. Большое количество

«строительного материала» поступает в созревающие семена из корней [7, 8].

Изучение влияния агроклиматических факторов показало, что в зависимости от погодных условий и региона выращивания уровень содержания белка в семенах сои может изменяться от 10 до 15% [9, 10]. При повышении влажности и снижении температуры воздуха уменьшается и содержание белка [11].

Ценность сои овощного направления в значительной степени зависит от содержания протеина; в семенах овощных сортов оно выше, чем у масличных, на 10-15% в зависимости от сортовых особенностей [12, 13]. Семена сои овощной в фазе технической спелости (R6) содержат 30-38% белка (на сухую массу) [14, 15].

Цель настоящей работы – изучение накопления сырого белка в листьях и семенах сои овощного типа в условиях Центрального района Нечерноземной зоны

России для выделения наиболее высокобелковых образцов в селекционных программах.

Методика. Объектом исследований были 10 образцов *Glycine max* L., два из которых – масличные, два – универсальные, шесть – овощные. Изучение селекционного материала сои проводили в лаборатории физиологии и биохимии Федерального научного центра овощеводства (ФНЦО) в течение 2016–2018 гг. Большая часть коллекционного материала была предоставлена Федеральным исследовательским центром Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, также использовали селекционный материал из коллекции ФНЦО (табл. 1).

Табл. 1. Происхождение образцов сои и направление использования

№ п/п	Образец	Происхождение	Направление
1	Окская (стандарт)	Россия	Зерновое (масличное)
2	Соер 5	Россия	Зерновое (масличное)
3	Gokuwase Hayabusa Edamame	Япония	Овощное
4	Образец А	Япония	Овощное
5	Нордик	Россия	Универсальное
6	Hidaka	Япония	Овощное
7	740-1	Швеция	Овощное
8	Fiskeby III	Швеция	Овощное
9	Tundra	Канада	Универсальное
10	Cha Kura Kake	Япония	Овощное

Овощные формы определены согласно сформированной модели сортоотипов: по морфологическим и хозяйственным признакам, биологическим особенностям, биохимическим параметрам [16, 17]. К универсальным отнесены формы, проявившие признаки, присущие как овощным, так и масличным сортам, к зерновым – сорта масличного направления. Стандартом был выбран сорт Окская (селекции Рязанского научно-исследовательского и проектно-технологического института АПК), зарегистрированный в Государственном реестре, в том числе для Центрального региона России.

Образцы высевали вручную в открытом грунте в третьей декаде мая в 2016 и 2018 гг., в 2017 г. – в первой декаде июля в защищенном грунте (теплице) в три ряда длиной 1,5 м (густота стояния – 40 шт./м²).

Содержание белка определяли по Бредфорду [18], белок экстрагировали буферным раствором (рН 12,0), калибровку осуществляли по бычьему сывороточному альбумину (99%) фирмы «Диаэм» (Россия).

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа с помощью программы Microsoft Office Excel (2010). Анализ изменчивости признаков определяли по следующим показателям:

средняя арифметическая: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$, где x_i – значение признака повторности, n – число всех повторностей;

ошибка выборки: $S_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, где σ – среднее квадратическое отклонение;

коэффициент вариации: $V_\sigma = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$.

Результаты и обсуждение. Анализ синтеза белка в вегетативных органах растений в фазе технической спелости показал отсутствие существенных различий между формами овощной и масличной направленности сои: содержание у первых было чуть ниже – на 6,5% (в относительных значениях), или на 0,51% (в абсолютных). Максимальное накопление белка в листьях овощных форм сои отмечено у линии Tundra – больше на 38,3% в относительных значениях, чем в среднем по группе. В фазе биологической спелости у этого образца содержание белка в семенах оказалось самым низким. Селекционные формы 740-1 и Fiskeby III обладали наименьшей суммой протеина в вегетативных частях растений в сравнении с остальными (на 36,4% ниже в относительных значениях). Несмотря на пониженное содержание белка в листьях, у этих образцов его аккумуляция в семенах в фазе биологической спелости была в среднем диапазоне (рис. 1, 2).

Для исследования кинетики накопления запасных протеинов – главного биохимического компонента сои, наряду с аккумуляцией в листьях, анализировали их содержание в семенах в процессе генеративного развития растений как в фазе технической (R6), так и биологической спелости. В фазе R6 по содержанию белка выделился раннеспелый образец Gokuwase Hayabusa Edamame, на 46,2% превосходявший другие образцы (в относительных значениях), что объяснимо генетически более ранним наступлением синтеза белковых веществ. Также стоит выделить масличные сорта Окская, Соер 5 и овощную форму 740-1 с содержанием белка на 11,8% выше (в относительных значениях), чем в среднем по опыту. Остальные образцы обладали почти одинаковым уровнем накопления белка в фазе технической спелости (значения варьировали от 25,7 до 28,4%).

Во время перехода растений с фазы технической спелости в биологическую по вариантам наблюдали разное повышение содержания белка в семенах (на сухое вещество). У образца Gokuwase Hayabusa Edamame

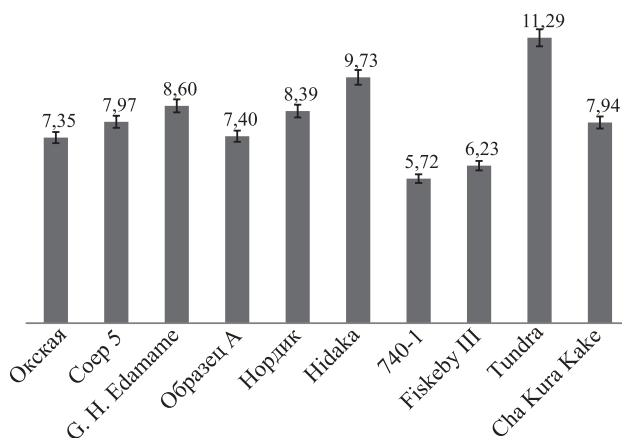


Рис. 1. Содержание (% на сухую массу) сырого белка в листьях сои в фазе технической спелости образцов, 2018 г.

Табл. 2. Содержание и выход сырого белка в обезжиренных семенах образцов сои в фазе биологической спелости

№ п/п	Образец	Содержание сырого белка, %				Vσ, %	Выход сырого белка, г/растение		
		2016 г.	2017 г.	2018 г.	в среднем за 3 года		2016 г.	2018 г.	в среднем за 2 года
1	Окская	33,5±1,0	46,5±1,4	35,3±1,1	38,5±4,1	18,4	4,8±0,1	3,1±0,1	4,0±0,9
2	Соер 5	35,0±1,1	45,9±1,4	35,9±1,1	38,9±3,5	15,5	4,6±0,1	5,7±0,2	5,2±0,5
3	Gokuwase Hayabusa Edamame	40,9±1,2	51,7±1,6	45,1±1,4	45,9±3,2	11,9	11,4±0,3	3,8±0,1	7,6±3,8
4	Образец А	44,7±1,3	54,7±1,6	45,5±1,4	48,3±3,2	11,5	7,2±0,2	5,2±0,2	6,2±1,0
5	Нордик	41,1±1,2	45,6±1,4	42,3±1,3	43,0±1,4	5,5	12,0±0,4	5,8±0,2	8,9±3,1
6	Hidaka	46,1±1,4	49,9±1,5	44,0±1,3	46,7±1,7	6,4	5,3±0,2	7,0±0,2	6,1±0,8
7	740-1	40,9±1,2	49,7±1,5	40,2±1,2	43,6±3,1	12,1	10,2±0,3	5,8±0,2	8,0±2,2
8	Fiskeby III	42,9±1,3	49,9±1,5	38,2±1,1	43,7±3,4	13,4	10,9±0,3	3,8±0,1	7,3±3,5
9	Tundra	37,2±1,1	46,6±1,4	35,6±1,1	39,8±3,4	15,0	5,5±0,2	4,9±0,1	5,2±0,3
10	Cha Kura Kake	41,5±1,2	57,3±1,7	42,9±1,3	47,2±5,0	18,5	12,4±0,4	3,8±0,1	8,1±4,3
HCP ₀₅		4,0	3,9	4,0	3,5				

увеличение было минимальным и составило 9,4% (в относительных значениях), поскольку наследственно обусловленный уровень накопления белка почти достигался в фазе технической спелости. У масличных сортов повышение содержания белка также было сравнительно небольшим – 18,6% (в относительных значениях). Значительный рост белковости семян в онтогенезе (более чем наполовину) отмечен у следующих образцов: Нордик, Hidaka, Fiskeby III, Cha Kura Kake, что свидетельствует об интенсивном синтезе протеина в семенах в течение всего периода созревания (до полного наступления биологической спелости). В фазе биологической спелости овощные формы превосходили масличные по уровню белковости (рис.2).

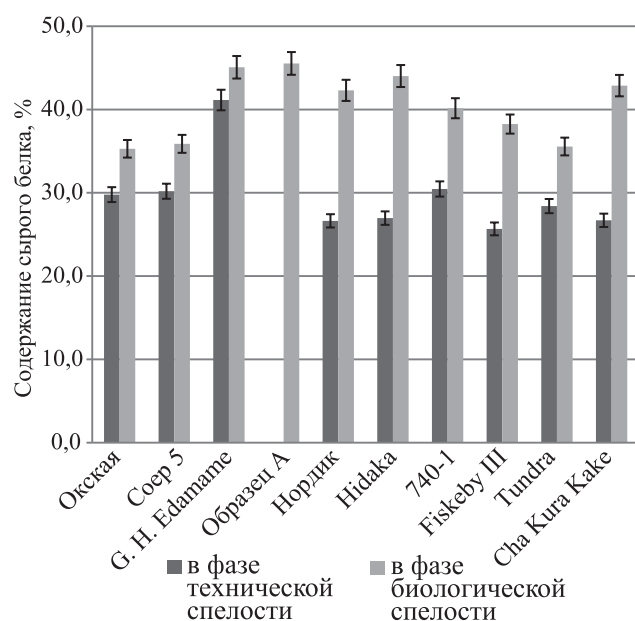


Рис. 2. Содержание (% на сухую массу) сырого белка в обезжиренных семенах сои в технической и биологической спелости, 2018 г.

В 2017 г. по сравнению с 2016 и 2018 гг. все образцы обладали в среднем более высоким содержанием сырого белка в семенах (на 23,0% в относительных значениях), поскольку их выращивали в условиях защищенного грунта с повышенной температурой воздуха. В полевых условиях 2016 и 2018 гг. содержание протеина почти не изменилось и составило 40,3 и 40,5% соответственно.

В среднем за 3 года у овощных образцов накопление белка в семенах было выше, чем у масличных, на 15,7% (в относительных значениях). Это объясняется наследственными факторами: в течение продолжительного периода селекции отбор вели на повышенную белковость, что может быть особенностью овощных линий.

Выделены следующие образцы со стабильно высоким уровнем аккумуляции белковых соединений: Образец А, Hidaka, Cha Kura Kake (их медианное значение составило 47,4% в абсолютных значениях), что больше на 5,8% (в относительных), чем у других образцов овощной группы. Коэффициент вариации был невысоким, что позволяет говорить о детерминированном накоплении белка в семенах сои в большей степени генетическими факторами. Данный показатель можно применять в селекционной практике как биохимический маркерный признак.

При расчете выхода сырого белка с растения (семян) масличные сорта, несмотря на продуктивность, выделились самым низким его сбором со средневзвешенным значением 4,6 г/растение. Наиболее высокий выход белка с растения отмечен у образцов Нордик, овощных форм 740-1 и Cha Kura Kake (8,3 г); при этом первый – мелкосемянный, вошедший в группу с максимальным выходом протеина за счет повышенной продуктивности. В 2016 г. наблюдали значительное отклонение сбора белка в сторону увеличения у овощных образцов Gokuwase Hayabusa Edamame, 740-1, Fiskeby III, Cha Kura Kake, а также у формы Нордик, что связано с более высокой урожайностью семян по сравнению с 2018 г. (табл.2).

Таким образом, овощные образцы сои интенсивно накапливают протеин в семенах, белковость которых в

фазе технической и биологической спелости достигает в среднем соответственно 29,4 и 45,9% (на обезжиренную массу), что выше, чем у масличных сортов в фазе биологической спелости, на 15,7% (в относительных значениях). Содержание белка в семенах в условиях 55° с.ш. служит основным биохимическим показателем овощных сортов сои.

Литература:

1. Mijoo R., Trinh D.T., Ng P.K.W. Characterization of storage proteins in different soybean varieties and their relationship to tofu yield and texture // *Food chemistry*. – 2003. – Т. 82. – № 2. – С. 265-273.
2. Зотиков В.И., Бобков С.В., Варлахова Л.Н. Характеристика сортов зернобобовых и крупяных культур селекции ВНИИЗБК по качеству зерна // *Достижения науки и техники АПК*. – 2010. – № 11. – С. 17-19.
3. Johnson D., Wang S., Suzuki A. Edamame: A vegetable soybean for Colorado // *Energy (Kcal)*. – 2000. – Т. 582. – С. 573.
4. Konovsky J., Lumpkin T.A., McClary D. Edamame: the vegetable soybean // *Understanding the Japanese food and agrimarket: a multifaceted opportunity*. – 1994. – Т. 1988. – С. 173-181.
5. Friedman M., Brandon D. L. Nutritional and health benefits of soy proteins // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2001. – Vol. 49. – № 3. – P. 1069-1086.
6. Xu S., Liu N., Mao W., Hu Q., Wang G., Gong Y. Identification of chilling-responsive microRNAs and their targets in vegetable soybean (*Glycine max* L.) // *Scientific reports*. – 2016. – Т. 6. – С. 26619.
7. Egli D.B., Bruening W.P. Accumulation of nitrogen and dry matter by soybean seeds with genetic differences in protein concentration // *Crop science*. – 2007. – Vol. 47. – № 1. – P. 359-366.
8. Yu X., Yuan F., Fu X., Zhu D. Profiling and relationship of water-soluble sugar and protein compositions in soybean seeds // *Food chemistry*. – 2016. – Т. 196. – С. 776-782.
9. Vollmann J., Fritz C. N., Wagentristl H., Ruckenbauer P. Environmental and genetic variation of soybean seed protein content under Central European growing conditions // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2000. – Т. 80. – № 9. – С. 1300-1306.
10. Singh G. (ed.). *The soybean: botany, production and uses*. – CABI, 2010. – 494 с.
11. Wolf R.B., Cavins J.F., Kleiman R., Black L.T. Effect of temperature on soybean seed constituents: oil, protein, moisture, fatty acids, amino acids and sugars // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. – 1982. – Т. 59. – № 5. – С. 230-232.
12. Jiang-bin C.A.I. M.L.I., Meng-ting L.I.N. J.C., Yu-chao L. I. U. Y. L. I. Determination and Nutritional Value Evaluation of Protein and Vitamin C in Edamame, Soybeans and Bean Sprouts // *Modern Agricultural Science and Technology*. – 2013. – Vol. 14. – P. 180.
13. Lumpkin T.A., Konovsley J. The vegetable soybean // *Taller Regional Centroamericanoy Consulta sobre Planificación de Investigación Hortícola*. – 1992. – P. 297.
14. Johnson D., Wang S., Suzuki A. Edamame: A vegetable soybean for Colorado // *Energy (Kcal)*. – 2000. – Vol. 582. – P. 573.
15. Zarkadas C. G., Gagnon C., Gleddie S., Khanizadeh S., Cober E.R., Guillemette R.J. Assessment of the protein quality of fourteen soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars using amino acid analysis and two-dimensional electrophoresis // *Food Research International*. – 2007. – Т. 40. – № 1. – С. 129-146.
16. Shafigullin D.R., Gins M.S., Pivovarov V.F., Soldatenko A.V. Study of soybean vegetable samples in the conditions of the Central European part of Russia and modeling of new variety biotypes // *Известия Тумряевской сельскохозяйственной академии*. – 2018. – № 4. – P. 73-98.
17. Шафигуллин Д.Р., Пивоваров В.Ф., Гинс М.С. Особенности вариаций признаков скороспелости у овощных и зерновых форм сои // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2017. – № 5. – С. 18-23.
18. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // *Analytical biochemistry*. – 1976. – Vol. 72. – № 1-2. – P. 248-254.

Поступила в редакцию 20.11.19
После доработки 05.01.20
Принята к публикации 15.01.20