

ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ У СОИ (*Glycine max* (L.) MERR.) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОВОЩНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Д.Р. Шафигуллин¹, Е.П. Пронина¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
М.С. Гинс^{1,2}, А.В. Солдатенко¹, члены-корреспонденты РАН

¹Федеральный научный центр овощеводства,
143080, Московская область, Одинцовский район, пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14

²Российский университет дружбы народов,

117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

E-mail: shafigullin89@yandex.ru

Обобщено трехгодичное изучение суммарного накопления фенольных соединений как важнейшей группы спирто- и водорастворимых антиоксидантов в непосредственно использующихся в пищу семенах и вегетативных органах сои овощной. Для анализа применен спектрофотометрический метод Фолин-Чокальтеу. Масличные и овощные образцы выращивали на опытном поле и в защищенном грунте Федерального научного центра овощеводства в Московской области. Впервые в условиях 55° с.ш., почти по наиболее северной границе возделывания культуры исследована аккумуляция фенольных соединений в фазе технической (R6) и биологической спелости (R8) овощных образцов. Обнаружено, что в R6-фазе содержание фенольных соединений в вегетативных органах значительно выше, чем в семенах (на сухую массу), и в среднем составляет 12,0 и 4,1 мг/г соответственно. Накопление фенольных соединений в семенах овощных форм превысило этот показатель у масличных сортов в обе фазы развития растений на 36,6 и 10% соответственно и в среднем за 3 года в фазе полной биологической спелости – на 26,3%. Отмечены овощные образцы с высоким накоплением фенольных соединений (4,9 мг/г): Gokuwase Hayabusa Edamame, Образец А, Tundra. Изучение аккумуляции таких соединений у овощных форм в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России позволяет сделать вывод об их использовании в создании сортов с повышенным содержанием фенольных соединений для производства овощной продукции функционального и лечебного направления.

PREDISPOSITION OF PHENOLIC COMPOUNDS ACCUMULATION IN SOYBEAN (*Glycine max* (L.) MERR.) DEPENDING ON THE VEGETABLE DIRECTION OF USE

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

¹Federal Scientific Vegetable Center,
143080, Moskovskaya oblast, Odintsovskiy rayon, pos. VNISSOK, ul. Selektionsnaya, 14

²Peoples' Friendship University of Russia,

117198, Moskva, ul. Miklucho-Maklaya, 6

E-mail: shafigullin89@yandex.ru

The article summarizes a three-year study of the total accumulation of phenolic compounds (PS) as the most important group of alcohol- and water-soluble antioxidants in seeds directly used in food and vegetative organs of vegetable soybean. For analysis, the Folin-Ciocalteu spectrophotometric method was used. Oilseed and vegetable samples were grown on the experimental field and in the greenhouse of the Federal Scientific Vegetable Center in the Moscow Region. For the first time under 55°N, almost along the northernmost border of crop cultivation, the accumulation of phenolic compounds in the phase of technical (R6) and biological ripeness (R8) of soybean vegetable lines was studied. It was found that in the R6-phase, the content of PS in the vegetative organs significantly exceeded the similar indicator in the seeds (per dry weight), averaging 12.0 and 4.1 mg/g, respectively. In a comparative aspect, the accumulation of phenolic compounds in the seeds of vegetable forms exceeded oilseed varieties in both phases of plant development: in phases R6 and R8 by 36.6 and 10 %, respectively. On average, over 3 years, the content of PS in the seeds of vegetable forms in the phase of complete biological ripeness was 26.3% more than in oilseed varieties. Vegetable samples with a high accumulation of phenolic compounds (4.9 mg/g) were noted: Gokuwase Hayabusa Edamame, Sample A, Tundra. Studying the phenolic compounds accumulation in vegetable soybean forms in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone makes it possible to conclude that they are promising for the creation of varieties with a high content of PS for the production of vegetables functional and medicinal products.

Ключевые слова: соя овощная, *Glycine max* (L.) Merr., фенольные соединения, антиоксиданты, функциональные продукты

Key words: vegetable soybean, *Glycine max* (L.) Merr., phenolic compounds, antioxidants, functional products

В последнее время соя привлекает все больше внимания по всему миру не только как масличная, но и ценная овощная культура [1, 2], используемая в национальных кухнях в виде основного блюда, добавок к супам и вторым блюдам или высокобелковой закуски [3]. Одно из преимуществ сои овощной – употребление семян в фазе технической спелости, когда активность антипитательных веществ минимальна; для их приготовления достаточно нескольких минут термической обработки [4].

Фенольные соединения являются веществами ароматической природы с гидроксильными группами, вторичного происхождения, отнесенные к числу непреходящих компонентов растительного мира [5]. Видовая

особенность растений влияет на их состав, значительно различающийся у таксонов [6]. Опытные данные свидетельствуют о том, что они играют большую роль в росте и развитии растений. Так, одна из важнейших функций фенольных соединений – участие в окислительно-восстановительных реакциях [7] в качестве антиоксидантов, влияющих на свободные радикалы, число которых возрастает в клетках при стрессе [8, 9]. Также они имеют большое значение в дыхании, фотосинтезе, регуляции процессов развития растений [10, 11]. Фенольные соединения, в число которых входят и изофлавоны, содержатся в вегетативных органах сои овощного типа, а также в бобах и семенах [12, 13].

При перенесении культуры из мест ее естественного, эндемичного произрастания в новые регионы содержание вторичных метаболитов в растениях подвергается значительным изменениям [14]. Поэтому важно проводить скрининг генетического материала на накопление фенольных соединений как основной группы антиоксидантов, необходимых в клетках и в пищевом рационе [15].

Цель настоящей работы – изучение предрасположенности содержания фенольных соединений в вегетативных органах и семенах сои, обусловленной овощным направлением использования в условиях 55° с.ш. для отбора генотипов с повышенным накоплением спирторастворимых антиоксидантов, перспективных в селекционной работе и создании функциональных продуктов питания.

Методика. Объектом исследований были 10 образцов *Glycine max* (L.) Мегг., 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 сортов и образцов предоставлена Федеральным исследовательским центром Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, также использовали селекционный материал из коллекции ФНЦО (табл. 1).

Овощные формы определяли согласно сформированной модели сортогрупп: по морфологическим и хозяйственным признакам, биологическим особенностям, биохимическим параметрам [16-18]; к универсальным отнесены формы, проявляющие 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.

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 – 55 шт./м²).

Содержание фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу [19]. Фенольные соединения экстрагировали раствором C₂H₅ОН (70%) на водяной бане при 70 °С в течение 45 мин. Калибровку проводили по галловой кислоте (безводная), степень чистоты – «чистая для анализа» (ЧДА). Накопление фенольных соединений в листьях анализировали однократно (в фазе технической спелости), в семенах – в динамике

(в фазе технической – R6 и биологической спелости – R8). Качественный анализ на содержание фенольных соединений проводили в водной суспензии обезжиренных измельченных семян (1 г/10 мл воды) по реакции с 0,1 н раствором хлорида железа (III).

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. Проведен качественный анализ на фенольные соединения в обезжиренных семенах. Наблюдали потемнение и интенсивное окрашивание раствора в красно-коричневый цвет, что свидетельствует о содержании пула фенольных компонентов.

В фазе технической спелости растения характеризовались существенным их накоплением в листьях, в несколько раз большим, чем в семенах. Содержание фенольных соединений почти не детерминировалось селекционной направленностью и изменялось в широком диапазоне. Максимальное их значение отмечено у овощной формы 740-1 (рис. 1).

Аккумуляция фенольных соединений в семенах показала превышение их суммы у овощных образцов в фазе технической и биологической спелости соответственно на 36,6 и 10%. Содержание фенольных компонентов в фазе R6 у овощных форм в среднем составило 4,1 мг-экв галловой кислоты/г.

В период созревания (до наступления полной биологической спелости) отмечено увеличение накопления фенольных соединений большинством образцов (примерно на треть). У линий Нордик, Hidaka, Cha Kura Kake выявлено их снижение на 8,9 и 24,4% (в относительных значениях), что может свидетельствовать о возможных путях разрушения вследствие теплового стресса (рис. 2).

В среднем за 3 года содержание фенольных соединений в семенах в фазе биологической спелости у овощных форм было больше на 26,3%, чем у масличных сортов. Среди овощных образцов высоким их накоплением выделились линии Gokuwase Nayabusa Edamame, образец A, Tundra – с медианным значением 4,9 мг-экв галловой кислоты/г.

Табл. 1. Происхождение образцов сои и направление использования

№ п/п	Образец	Происхождение	Направление
1	Окская	Россия	Зерновое (масличное)
2	Соер 5	Россия	Зерновое (масличное)
3	Gokuwase Nayabusa 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

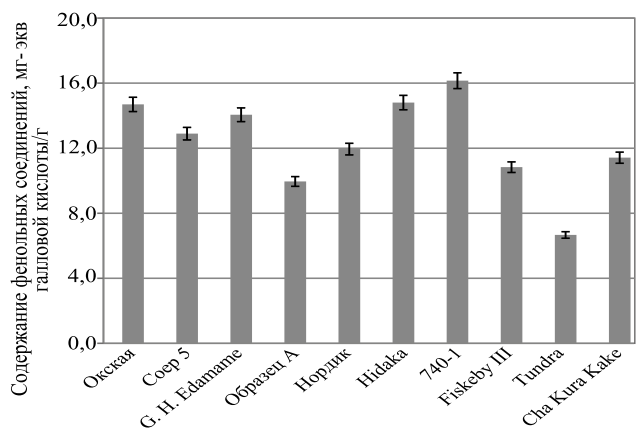


Рис. 1. Содержание (мг-экв галловой кислоты/г на сухую массу) фенольных соединений в листьях образцов сои в фазе технической спелости (среднее за 2017-2018 гг.).

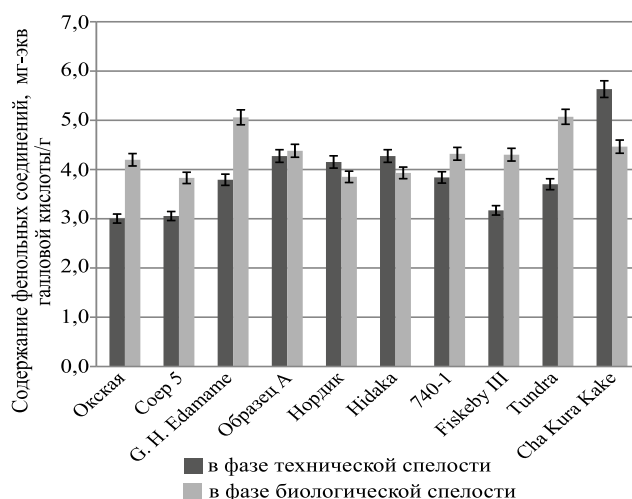


Рис. 2. Содержание (мг-экв галловой кислоты/г на сухую массу) фенольных соединений в обезжиренных семенах образцов сои в фазе технической и биологической спелости, 2018 г.

Табл. 2. Содержание (мг-экв галловой кислоты/г) фенольных соединений в обезжиренных семенах образцов сои в фазе биологической спелости

Образец	2016 г.	2017 г.	2018 г.	В среднем за 3 года	V _о , %
Окская	3,6±0,1	3,1±0,1	4,2±0,1	3,6±0,3	15,2
Соер 5	4,8±0,1	3,0±0,1	3,8±0,1	3,9±0,5	23,2
Gokuwase Hayabusa Edamame	5,5±0,2	4,1±0,1	5,1±0,2	4,9±0,4	14,3
Образец А	6,2±0,2	4,3±0,1	4,4±0,1	5,0±0,6	21,1
Нордик	4,4±0,1	2,8±0,1	3,9±0,1	3,7±0,5	21,2
Hidaka	5,7±0,2	4,4±0,1	3,9±0,1	4,7±0,5	20,1
740-1	5,1±0,2	4,7±0,1	4,3±0,1	4,7±0,2	8,1
Fiskeby III	5,4±0,2	4,3±0,1	4,3±0,1	4,7±0,4	13,8
Tundra	6,3±0,2	5,1±0,2	5,1±0,2	5,5±0,4	13,0
Cha Kura Kake	4,6±0,1	3,2±0,1	4,5±0,1	4,1±0,4	18,7
HCP ₀₅	0,8	0,8	0,4	0,6	-

В 2017 г. у масличных и овощных форм сои обнаружено снижение суммы фенольных соединений на 31,9% по сравнению с предыдущим годом, что вызвано аномальными факторами влияния внешней среды (температурой воздуха в период налива семян выше 35 °С и недостатком влаги в условиях защищенного грунта). Изменчивость содержания данных соединений по годам была относительно невысокой, что позволяет рассматривать это как ценный биохимический признак (табл. 2).

Таким образом, суммарное накопление фенольных соединений в семенах сои овощной достаточно велико в фазе технической и биологической спелости и составляет соответственно 4,1 и 4,8 мг-экв галловой кислоты/г, что выше на 36,6 и 26,3%, чем у масличных сортов. Можно сделать вывод об использовании образцов сои овощного типа в селекции на повышенное накопление водо- и спирторастворимых фенольных соединений как самой большой группы антиоксидантов.

Литература:

1. Ogles C.Z. Evaluation of selected edamame cultivars for isoflavone content, organoleptic characteristics, and production in Central Alabama // *Duc. Auburn University*, 2016. – 77 с.

2. Xu Y., Cartier A., Kibet D., Jordan K., Hakala I., Davis S., Rutto L. Physical and nutritional properties of edamame seeds as influenced by stage of development // *Journal of Food Measurement and Characterization*. – 2016. – V. 10. – № 2. – P. 193-200.

3. Jian Y. Situation of soybean production and research in China // *Tropical Agriculture Research Series*. – 1984. – V. 17. – N 1. – P. 67-72.

4. Johnson D., Wang S., Suzuki A. Edamame: A vegetable soybean for Colorado // *Energy (Kcal)*. – 2000. – V. 582. – P. 573.

5. Запроматов М.Н. Фенольные соединения. Распространение, метаболизм и функции в растениях. – М.: Наука, 1993. – 272 с.

6. Wollenweber E., Dietz V.H. Occurrence and distribution of free flavonoid aglycones in plants // *Phytochemistry*. – 1981. – V. 20. – P. 869-932.

7. Alu'datt M.H., Rababah T., Ereifej K., Alli I. Distribution, antioxidant and characterisation of phenolic compounds in soybeans, flaxseed and olives // *Food chemistry*. – 2013. – V. 139. – N 1-4. – P. 93-99.

8. Тарчевский И.А. Сигнальные системы клеток. – М.: Наука, 2002. – 294 с.

9. Макарова Л.Е. Физиологическое значение фенольных соединений при формировании бобово-ризобияльного симбиоза на этапе преинфекции // *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія*. – 2012. – N 2. – С. 25-40.

10. Bellès J.M., Garro R., Fayos J., Navarro P., Primo J., Conejero V. Gentisic acid as a pathogen-inducible signal, Additional to Salicylic Acid for Activation of Plant Defenses in Tomato // *Mol. Plant-Microbe Interact.* – 1999. – V. 12 – P. 227-235.

11. Cunha J.F., Campestrini F.D., Calixto J.B., Scremin A., Paulino N. The mechanism of gentisic acid-induced relaxation of the guinea pig isolated trachea: the role of potassium channels and vasoactive intestinal peptide receptors // *Braz. J. Medical Biological Res.* – 2001. – V. 3. – N 3. – P. 381-388.

12. Dueñas M., Hernández T., Lamparski G., Estrella I., Muñoz R. Bioactive phenolic compounds of soybean (*Glycine max* cv. Merit): modifications by different microbiological fermentations // *Polish journal of food and nutrition sciences*. – 2012. – T. 62. – N 4. – С. 241-250.

13. Chung I.M., Seo S.H., Ahn J.K., Kim S.H. Effect of processing, fermentation, and aging treatment to content and profile of phenolic compounds in soybean seed, soy curd and soy paste // *Food chemistry*. – 2011. – T. 127. – N 3. – С. 960-967.

14. Kim E H., Ro H.M., Kim S.L., Kim H.S., Chung I.M. Analysis of isoflavone, phenolic, soyasapogenol, and toopherol compounds in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] germplasms of different seed weights and origins // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2012. – V. 60. – N 23. – P. 6045-6055.

15. Lee S.J., Kim J.J., Moon H.I., Ahn J.K., Chun S.C., Jung W.S., Chung I.M. Analysis of isoflavones and phenolic compounds in Korean soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seeds of different seed weights // *Journal of agricultural and food chemistry*. – 2008. – T. 56. – N 8. – С. 2751-2758.

16. Шафигуллин Д.Р., Романова Е.В., Гинс М.С., Гинс В.К., Пронина Е.П. Особенности корреляционных связей между количественными признаками селекционных образцов сои // *Овощи России*. – 2017. – N 2. – С. 20-23.

17. Шафигуллин Д.Р., Гинс М.С., Пронина Е.П., Романова Е.В., Солдатенко А.В. Накопление сырого белка образцами сои овощного типа в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2020. – № 2. – С. 13-16.

18. Shafiqullin 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 Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2018. – N 4. – P. 73-98.

19. Ainsworth E.A., Gillespie K.M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent // *Nature protocols*. – 2007. – V. 2. – N 4. – P. 875.

Поступила в редакцию 03.02.20
После доработки 15.03.20
Принята к публикации 20.03.20