

## ИССЛЕДОВАНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ В СЕМЕНАХ ОВОЩНЫХ БОБОВЫХ КУЛЬТУР, ВЫРАЩЕННЫХ В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.Р. ШАФИГУЛЛИН<sup>1,2</sup>, аспирант

А.А. БАЙКОВ<sup>1</sup>

М.С. ГИНС<sup>1,2</sup>, член-корреспондент РАН

Е.П. ПРОНИНА<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук

А.В. СОЛДАТЕНКО<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН

<sup>1</sup>ФГБНУ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ОВОЩЕВОДСТВА»

E-mail: shafigullin89@yandex.ru

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»

E-mail: anirr@bk.ru

*Проведён анализ суммы антиоксидантов как интегральной величины, характеризующей содержание важнейших компонентов для производства функциональных продуктов. Для этого изучена сумма водорастворимых антиоксидантов в фазе полной биологической спелости в семенах овощных бобовых культур, таких как соя, горох, бобы, фасоль. В работе использовались сорта селекции Федерального научного центра овощеводства различных групп спелости и периодов включения в Госреестр за исключением четырёх масличных сортов сои. Образцы выращивались в условиях Московской области на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах. Применение амперометрического метода позволило измерить и оценить суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в семенах овощных бобовых растений, являющихся ведущими белковыми культурами и используемых в здоровом питании.*

*При анализе влияния генотипа на накопление гидрофильных антиоксидантов обнаружено, что некоторые выдающиеся стародавние овощные сорта, созданные больше 60-70 лет назад, аккумулируют антиоксиданты на уровне современных промышленных сортов, а иногда и превышают их.*

*Сорта всех овощных бобовых культур в целом проявили хорошую способность накапливать водорастворимые антиоксиданты в семенах по показателю суммы антиоксидантов. Полученные данные дают возможность рекомендовать использовать растения *Glycine max* L., *Pisum sativum* L., *Vicia faba* L., *Phaseolus vulgaris* L., выращиваемые в условиях средней полосы России (55° с. ш.), в качестве сырья для производства продукции с повышенным содержанием соединений, характеризующимися антиоксидантными свойствами.*

*Планируется, что в дальнейшем «антиоксидантный» параметр будет включён в селекционные программы по созданию сортов богатых ценными компонентами для лечебного и оздоровительного питания. Работа по выделению селекционных линий овощных бобовых культур, обладающих комплексом полезных биохимических качеств, продолжается.*

**Ключевые слова:** соя овощная, бобы овощные, фасоль овощная, горох овощной, окислительный стресс, антиоксиданты.

Бобовые (сем. *Fabaceae*) представляют собой уникальные сельскохозяйственные культуры. Представители этого семейства являются одними из самых высокобелковых растений, культивируемых человеком, присутствуя на всех континентах. Они имеют огромное продовольственное значение, обеспечивая людей необходимыми для жизни биохимическими компонентами: в первую очередь белком, «медленными» углеводами с низким гликемическим

индексом, витаминами группы В, С, Е, липидами, солями фосфора, калия, кальция, магния. Также, бобовые фиксируют азот из атмосферы, снижая использование минеральных удобрений и повышая общее почвенное плодородие [1, 2, 3].

Наиболее распространенными овощными бобовыми культурами на продовольственном рынке в мире являются горох, фасоль, бобы, соя, вигна, чечевица, нут. В России традиционно популярны овощной горох, бобы, фасоль, чечевица, как в виде супов, так и в виде салатов и разнообразных закусок к горячим блюдам. Набирает популярность соя, с чем связано большое содержание в её семенах протеина, полезного жира ( $\omega$ -3 и  $\omega$ -6, их соотношение), фосфолипидов, токоферолов, изофлавонов [4, 5].

Важно проводить селекционную работу по созданию новых сортов овощных бобовых культур с высокой долей в составе белка семян фенольных соединений, витаминов, поскольку имеется устойчивый положительный тренд на спрос, определяемый с одной стороны повышением числа людей, заботящихся о своём здоровье и предпочитающих питание растительной пищей, с другой – производственным ростом переработки пищевой продукции [6].

В клетках растений кислород может иметь активные высокотоксичные формы, участвующие в аэробном метаболизме, которые должны находиться под контролем организма. Они реагируют без участия ферментов с органическими соединениями, окисляя их. Поддержание концентрации синтезированных активных форм  $O_2$  на невысоком уровне проводится с помощью функционирования антиоксидантной системы, от эффективности работы которой зависит устойчивость культуры к стрессовым факторам среды. Механизм её действия заключается в обрыве реакционных цепей: антиоксидант связывается с активными радикалами, формируя слабоактивные формы [7, 8].

Многие природные компоненты растительного происхождения обладают антиоксидантным действием, при этом число соединений, относимых к антиоксидантам, постоянно увеличивается. К водорастворимым антиоксидантам (АО) относятся: витамин С, витамины группы В, флавоноиды, полифенольные соединения, ароматические амины [9].

Изучая их характеристики и механизмы действия, можно сделать вывод о положительной роли в профилактике болезней, ассоциированных с ростом антиоксидантного стресса и преждевременного старения организма. Поэтому использование антиоксидантов в функциональном питании может быть важным элементом в лечении заболеваний и укреплении общего иммунитета, усиливая систему защиты от свободных радикалов [10].

#### **Материалы и методика исследований**

Объектом исследований являлись овощные бобовые культуры: соя, горох, бобы, фасоль. В работе было представлено шесть образцов сои (два из которых – овощные), восемнадцать сортов гороха, три сорта бобов, четырнадцать сортов фасоли. Всего в изучении находился сорок один культивар.

Масличные (зерновые) сорта сои были включены в исследования совместно с овощными формами для сравнения, поскольку последние отсутствуют в Государственном реестре селекционных достижений (далее – Госреестр). Они определены согласно сформированной модели сортоотбора: морфологическим и хозяйственным признакам, биологическим особенностям, биохимическим параметрам [11].

Все изучаемые сорта, как стародавние, так и современные, российского происхождения, внесены в Госреестр, за исключением двух овощных образцов сои из коллекции Федерального научного центра овощеводства. Оригинатором всех сортов, за исключением четырёх образцов сои масличного направления, является Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК), ныне – Федеральный научный центр овощеводства (ФНЦО). Данные по направлениям использования, группам спелости представлены в соответствии с кодированием признаков сортов, утверждённым Госсортокомиссией, за исключением описания направления использования сои (табл. 1).

Таблица 1

**Сорта и образцы овощных бобовых культур**

№ п/п	Образец	Оригинатор	Направление*	Группа** спелости	Внесены в Госреестр
<i>Glycine max L.</i>					
1	Гармония	ВНИИ сои	Масличное	03	2003
2	Лидия	ВНИИ сои	Масличное	03	2005
3	Соер 4	Ершовская ОСОЗ НИИСХ Юго- Востока	Масличное	02	1997
4	Соната	ВНИИ сои	Масличное	03	1998
5	Детерминант	ВНИИССОК***	Овощное	03****	-
6	Образец 1	-//-	Овощное	03****	-
<i>Pisum sativum L.</i>					
1	Вера	ВНИИССОК	кн	03	1995
2	Виола	-//-	кн	05	1977
3	Грибовский Юбилейный	-//-	кн	05	2011
4	Дарунок	-//-	кн	06	2009
5	Жегаловец	-//-	кн	03	2009
6	Изумруд	-//-	кн	05	1979
7	Каира	-//-	кн	04	2011
8	Крейсер	-//-	кн	03	2015
9	Максдон	-//-	кн	05	2011
10	Неистошимый 195	-//-	сх	04	1943
11	Николас	-//-	кн	05	2011
12	Ранний 301	-//-	кн	03	1956
13	Ранний Грибовский 11	-//-	кн	03	1964
14	Сахарный 2	-//-	сх	06	1993
15	Совинтер 1	-//-	кн	05	2016
16	Триумф	-//-	кн	06	2016
17	Фрагмент	-//-	кн	05	1997
18	Чика	-//-	кн	03	2006
<i>Vicia faba L.</i>					
1	Белорусские	-//-	со	07	1950
2	Велена	-//-	со	04	1993
3	Русские Чёрные	-//-	со	03	1943
<i>Phaseolus vulgaris L.</i>					
1	Антошка	-//-	со	04	2012
2	Аришка	-//-	со	03	2006
3	Золушка	-//-	со	03	2005
4	Креолка	-//-	со	05	2005
5	Лица	-//-	со	05	2006
6	Мариинка	-//-	со	04	2012
7	Московская Белая Зеленостручная 556	-//-	со	05	1943
8	Мрия	-//-	со	05	2007
9	Пагода	-//-	со	04	2005
10	Рант	-//-	со	02	1997
11	Рашель	-//-	со	04	2006
12	Сакфит	-//-	со	04	2007
13	Секунда	-//-	со	03	1997
14	Фантазия	-//-	со	05	2006

\* кн – консервный, сх – сахарный, со – садово-огородный

\*\* 02 – от очень раннего до раннего, 03 – ранний (раннеспелый), 04 – среднеранний, 05 – средний (среднеспелый), 06 – среднепоздний, 07 – поздний (позднеспелый)

\*\*\* из коллекции ВНИИССОК

\*\*\*\* оценка по результатам полевых испытаний во ВНИИССОК

Овощные сорта и образцы выращивали на опытных полях ФНЦО (Одинцовский район, Московская область). Анализ суммы антиоксидантов (АО) проводили на базе лаборатории физиологии и биохимии растений. В работе использовали семена в фазе полной биологической спелости при влажности 10%.

Экстракцию проводили бидистиллированной водой при комнатной температуре. Суммарное содержание АО определяли амперометрическим методом [12] на измерительном комплексе «ЦветЯуза 01-АА», разработанном в ОАО НПО «Химавтоматика» [13].

Навеску измельчённого в муку и просеянного семенного материала (размер сит 500 мкм) заливали 50 мл бидистиллированной воды и ставили на магнитную мешалку на 1 час. Полученную смесь центрифугировали 20 мин при 6000 г. Аликвоту супернатанта, при необходимости разбавляя, вводили в дозатор проточно-инжекционной системы с амперометрическим детектором (постоянно-токовый режим, потенциал рабочего электрода 1300 мВ) и регистрировали площади пиков в четырёхкратной повторности. Массовую концентрацию АО рассчитывали, используя калибровку по галловой кислоте, и выражали в мг-экв. галловой кислоты/г воздушно сухого вещества семян (мг-экв. ГК/г).

Целью работы являлось изучение суммарного содержания водорастворимых антиоксидантов в семенах овощных бобовых культур, выращенных в условиях Московской области, для последующего выделения генотипов с повышенным содержанием биохимических компонентов, обладающих антиоксидантной активностью.

#### Результаты исследований

##### *Содержание суммы антиоксидантов в семенах сортов сои.*

Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в овощных формах выше, чем в зерновых, в среднем на 0,115 мг-экв. ГК/г. Особенность овощных сортов сои заключается в том, что в них содержится больше фенольных соединений, в частности, изофлавонов, а также витамина С, которые вносят вклад в сумму водорастворимых АО. Это даёт возможность сделать вывод о более тесной зависимости синтеза антиоксидантов с уровнем накопления белка и углеводов в овощных формах, поскольку они отличаются большим их содержанием. При этом наблюдается обратная зависимость аккумуляции водорастворимых антиоксидантов от уровня содержания масла, активности ингибиторов трипсина и липоксигеназы [11].

Среди представленных культиваров, максимальное содержание АО наблюдалось в овощных формах Детерминанте и в Образце 1 из коллекции ФНЦО; при этом скорость созревания сорта не оказала значительного влияния на накопление антиоксидантов. Существенным сравнительным содержанием компонентов, обладающих антиоксидантными свойствами, отличался также зерновой сорт Соната, выращиваемый уже 20 лет и показавший максимальный результат среди масличных сортов. В остальных сортах, которые внесены в Госреестр позднее, уровень содержания АО был ниже (табл. 2).

Таблица 2

##### **Суммарное содержание антиоксидантов в водном экстракте из семян *Glycine max* L.**

№ п/п	Образец	$X \pm \Delta X$ , мг-экв. ГК/г
1	Гармония	0,88±0,03
2	Лидия	0,96±0,03
3	Соер 4	0,95±0,03
4	Соната	1,05±0,03
5	Детерминант	1,09±0,03
6	Образец 1	1,06±0,03

##### *Содержание суммы антиоксидантов в семенах сортов гороха.*

В опыте была отмечена тенденция, связанная с селекционной направленностью сортов овощного гороха: у культиваров сахарного типа – Сахарный 2 и Неистошимый 195 сумма АО была близка к наивысшей среди представленных образцов консервного производства, уступая лишь сортам Дарунок и Жегаловец. Это даёт возможность

предположить, что суммарное содержание антиоксидантов связано с накоплением в семенах углеводов и витамина С, т.к. в сахарных сортах их больше. Группа спелости существенного влияния на содержание антиоксидантов не оказала.

Стоит отметить, что сорт Неистошимый 195, внесённый в Госреестр в 1943 году, а также Ранний 301, которым уже больше 60-70 лет, хорошо себя зарекомендовавшие в производстве, обладающие высокой экологической пластичностью и до сих пор не снятые с производства, показали неплохие результаты по содержанию суммы водорастворимых АО. Относительно новые сорта 2009 года регистрации – Дарунок и Жегаловец – накопили максимальную сумму АО среди представленных генотипов. Ранний Грибовский 11, стародавний сорт 1964 года регистрации, оказался в самом последнем квартиле по содержанию антиоксидантов, растворимых в воде. Данный факт подчеркивает важность селекционной работы по обновлению сортимента овощных сортов *Pisum sativum* L. консервного направления. По остальным сортам влияние «возраста» сорта на интегральную сумму АО не оказало (табл. 3).

Таблица 3

**Суммарное содержание антиоксидантов в водном экстракте из семян *Pisum sativum* L.**

№ п/п	Образец	X±ΔX, мг-экв. ГК/г
1	Вера	0,74±0,02
2	Виола	0,57±0,02
3	Грибовский Юбилейный	0,63±0,02
4	Дарунок	0,89±0,03
5	Жегаловец	0,92±0,02
6	Изумруд	0,52±0,02
7	Каира	0,50±0,02
8	Крейсер	0,66±0,02
9	Максдон	0,52±0,02
10	Неистошимый 195	0,86±0,03
11	Николас	0,69±0,02
12	Ранний 301	0,65±0,02
13	Ранний Грибовский 11	0,52±0,02
14	Сахарный 2	0,78±0,02
15	Совинтер 1	0,63±0,02
16	Триумф	0,62±0,02
17	Фрагмент	0,57±0,02
18	Чика	0,55±0,02

**Содержание суммы антиоксидантов в семенах сортов бобов и фасоли.**

Все сорта бобов и фасоли, изучаемые в опыте, относились к садово-огородному типу, овощной направленности.

Исследования показали, что срок созревания обратно пропорционален сумме водорастворимых антиоксидантов в семенах овощных бобов: чем более раннеспелый сорт, тем больше в нём накапливается АО. В данную парадигму укладывается всемирно известный сорт Русские Чёрные, созданный в 1943 году на Грибовской овощной селекционной опытной станции, показавший максимальное накопление антиоксидантных компонентов, входящих во фракцию водорастворимых. Этот сорт по-прежнему пользуется спросом со стороны сельхозтоваропроизводителей, в том числе благодаря синтезу ценных биохимических компонентов: витамина С, фенольных соединений и др. Сорт Белорусские, являющийся также старейшим сортом, до сих пор находящимся в Госреестре, показал почти аналогичное

содержание антиоксидантов на том же уровне. Самое низкое значение по накоплению АО среди овощных бобов имел сорт Велена, внесённый в Госреестр в 1993 году (табл. 4).

Изучение сроков созревания сортов фасоли овощной показало, что самый скороспелый сорт фасоли Рант (2 группа спелости) и раннеспелый Секунда (3 группа), созданные в 90-ые годы, в значительной степени аккумулировали антиоксиданты. Но, с другой стороны, среднеспелые сорта Креолка, Лика, Фантазия (5 группа) накопили АО в большем объеме. Механизм зависимости скорости созревания и накопления АО на фасоли до конца не изучен.

Сорт Креолка, созданный в 2005 году, показал самое высокое значение суммы водорастворимой фракции АО среди исследуемых генотипов. Он также пользуется популярностью в сельскохозяйственном производстве.

Таблица 4

**Суммарное содержание антиоксидантов в водном экстракте из семян *Vicia faba* L. и *Phaseolus vulgaris* L.**

№ п/п	Образец	X±ΔX, мг-экв. ГК/г
<i>Vicia faba</i> L.		
1	Белорусские	1,60±0,05
2	Велена	1,54±0,05
3	Русские Чёрные	1,68±0,05
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.		
1	Антошка	0,76±0,02
2	Аришка	0,60±0,02
3	Золушка	0,54±0,02
4	Креолка	1,30±0,04
5	Лика	0,90±0,03
6	Мариинка	0,48±0,01
7	Московская Белая Зеленостручная 556	0,58±0,02
8	Мрия	0,49±0,01
9	Пагода	0,47±0,01
10	Рант	0,91±0,03
11	Рашель	0,61±0,02
12	Сакфит	0,61±0,02
13	Секунда	0,63±0,02
14	Фантазия	0,68±0,02

**Выводы**

1. Общее содержание водорастворимых АО в овощных формах сои было выше, чем в зерновых, при этом максимальное содержание антиоксидантов наблюдалось в Детерминанте и в Образце 1 из коллекции ФНЦО.

2. Выявлено влияние селекционной направленности гороха овощного на сумму водорастворимой фракции АО в семенах: в сортах сахарного типа – Сахарный 2 и Неистошимый 195 их накопление было более существенным, уступая лишь сортам Дарунок и Жегаловец консервного направления.

3. Обнаружена обратная зависимость сроков созревания овощных бобов и суммы АО: сорт Русские Чёрные имел наибольшее содержание водорастворимой части антиокислителей. Самую сильную аккумуляцию АО среди сортов овощной фасоли показал сорт Креолка. Среди изученных овощных бобовых культур значительным накоплением гидрофильных антиоксидантов отличались овощные бобы и фасоль.

4. Целесообразно использовать данные генотипы как важный источник АО в селекционных программах по созданию новых сортов для производства функциональных

продуктов питания с повышенным содержанием компонентов, обладающих антиоксидантной активностью.

### Литература

1. Пивоваров В. Ф. Овощи России. – ГНУ ВНИИССОК, – 2006.
2. Vaz Patto M. C. et al. Achievements and challenges in improving the nutritional quality of food legumes // Critical reviews in plant sciences. – 2015. – Т. 34. – №. 1-3. – С. 105-143.
3. Путина О.В., Бобков С. В., Вишнякова М. А. Углеводный состав семян и его связь с другими селекционно значимыми признаками у овощного гороха (*Pisum sativum* L.) в условиях Краснодарского края // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53. – №. 1.
4. Rubiales D., Mikic A. Introduction: legumes in sustainable agriculture. – 2015.
5. 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.
6. Вишнякова М. А. и др. Исходный материал для селекции овощных бобовых культур в коллекции ВИР // Овощи России. – 2015. – №. 1. – С. 16-25.
7. Шарова Е. Антиоксиданты растений. – Litres, – 2018.
8. Embuscado M. E. Spices and herbs: Natural sources of antioxidants—a mini review // Journal of Functional Foods. – 2015. – Т. 18. – С. 811-819.
9. Xu D. P. et al. Natural antioxidants in foods and medicinal plants: extraction, assessment and resources // International journal of molecular sciences. – 2017. – Т. 18. – №. 1. – 96 с.
10. Bjørklund G., Chirumbolo S. Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health // Nutrition. – 2017. – Т. 33. – С. 311-321.
11. Шафигуллин Д.Р., Гинс М.С., Пивоваров В.Ф., Солдатенко А.В. Изучение овощных форм сои в условиях Центрального района Европейской части РФ и моделирование новых сортоотборов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – №. 4.
12. Гинс М.С., Гинс В.К., Кононков П.Ф. и др. Методика анализа суммарного содержания антиоксидантов в листовых и листостебельных овощных культурах. М. РУДН. – 2013. – 40 с.
13. Яшин А. Я., Яшин Я. И., Черноусова Н. И. Определение природных антиоксидантов амперометрическим методом // Пищевая промышленность. – 2006. – №. 2. – С. 10-12.

## THE STUDY OF THE ANTIOXIDANT TOTAL CONTENT IN VEGETABLE LEGUME CROPS GROWN IN THE MOSCOW REGION

D.R. Shafigullin<sup>1,2</sup>, A.A. Baykov<sup>1</sup>, M.S. Gins<sup>1,2</sup>, E.P. Pronina<sup>1</sup>, A.V. Soldatenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FGBNU “FEDERAL SCIENTIFIC VEGETABLE CENTER”, e-mail: shafigullin89@yandex.ru

<sup>2</sup> FGAOU VO “PEOPLES FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA”. e-mail: anirr@bk.ru

**Abstract:** *The analysis of the amount of antioxidants as an integral value characterizing the content of the most important components for the production of functional products is carried out. For this purpose, the amount of water-soluble antioxidants was studied in the phase of complete biological ripeness in seeds of the most important vegetable leguminous crops, such as soybean, pea, broad beans, French bean. The varieties were used of different ripening groups and the registration periods of the breeding of the Federal Scientific Vegetable Center (formerly All-Russian Research Institute of Breeding and Seed-Production of Vegetable Crops), except for the four soybean oilseed varieties. Samples were grown in the Moscow region on sod-podzolic medium loam soils. Applying the amperometric method, it was possible to measure and estimate the total content of water-soluble antioxidants in seeds of vegetable leguminous plants, which are the most important protein crops and using in healthy nutrition.*

*When analyzing the effect of the genotype on the accumulation of hydrophilic antioxidants, it was found that some outstanding age-old vegetable varieties created more than 60-70 years ago accumulate antioxidants at the level of modern industrial varieties, and sometimes exceed them.*

*Varieties of all vegetable leguminous crops have generally shown a good ability to accumulate water-soluble antioxidants in seeds in terms of the antioxidant total content. The data obtained make it possible to propose the use of plants *Glycine max* L., *Pisum sativum* L., *Vicia faba* L., *Phaseolus vulgaris* L., cultivating in the Central Zone of Russia (55°N), as a raw material for manufacture of products with increased content of compounds with antioxidant properties.*

*It is planned that further the "antioxidant" parameter will be included in the breeding programs of vegetable varieties for medical and health nutrition. The work on the breeding lines selection of vegetable legumes, which have a complex of useful biochemical qualities, continues.*

**Keywords:** vegetable soybean, vegetable broad beans, vegetable French bean, vegetable pea, oxidative stress, antioxidants.