

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА СЕМЯН ГОРОХА (*PISUMSATIVUM*L.)

Василенко А. А., Поздняков В. В., Анциферова О. В., Безуглый И. Н.
Институт растениеводства им. В. Я. Юрьева, Украина

Представлены результаты исследований по общей антиоксидантной активности (АОА) тест-системой с использованием DPPH, содержание и состав токоферолов в семенах гороха. Проведенная оценка общей АОА показала диапазон изменчивости за годы изучения в среднем от 55,69 %–44,32 % и незначительный коэффициент вариации признака $V= 6,32\%$ в 2015 г. и $V= 8,75\%$ в 2016 г. Между общей АОА, эквивалентом хлорогеновой кислоты и урожайностью, а также содержанием белка в семенах гороха корреляции были слабые и незначимые. Показано, что более 90 % токоферолов семян гороха представлены γ -изомером. Для подтверждения значимых отличий по общей АОА носителя гена *rb* необходимо провести анализ выборки образцов национальной коллекции вида *Pisum sativum* L.

Ключевые слова: горох, семена, антиоксидантная активность, DPPH, токоферолы, гены *R*, *rb*

Вступление. Интерес к природным антиоксидантам, как неспецифическим механизмам устойчивости к абиотическим факторам, в последнее десятилетие постоянно растет. В течении вегетации растения гороха испытывают влияние экологических стрессоров разной напряженности и вынуждены к ним приспосабливаться [1, 2], также отсутствие влаги провоцирует раннее старение клубеньков и снижает в них активность неферментативных антиоксидантов [3].

Кроме устойчивости растительного организма к абиотическим факторам, антиоксиданты, содержащиеся в продуктах растительного происхождения, могут оказывать положительное воздействие на здоровье человека и таким образом составлять физиологическую ценность продуктов питания.

Анализ литературы. Исследования антиоксидантов в объектах со сложной многокомпонентной матрицей, каковыми являются пищевые продукты, в настоящее время проводятся в двух направлениях: определение состава веществ, способных выполнять функции антиоксидантов и определение общих антиоксидантных свойств объектов [4].

За рубежом исследование антиоксидантной активности пищевых продуктов, в частности фруктов, зерновых, бобовых культур и других продуктов, и их влияния на физиологические процессы и здоровье человека развернуто достаточно широко. В работе В. L. Halvorsen, et al. представлены результаты исследований антиоксидантной активности 22 категорий продуктов питания и более 1120 пищевых продуктов различных производителей США, а у М. Н. Carlsen et al. более 3100 пищевых продуктов [5, 6] Яшиным Я. И. и др. в большом объеме проведены измерения содержания антиоксидантной активности в наиболее распространенных пищевых продуктах: хлебных продуктах, картофеле, яблоках разных сортов, биологически активных добавок, различных сортах чая и кофе, продуктах пчеловодства и меда из различных регионов России [7]. Отмечено положительное влияние компонентов семян бобовых при сердечнососудистых заболеваниях, диабете и нескольких типах рака [8]. Изучается и механизм действия антиоксидантов, их медицинское использование и фармакологический эффект [9, 10].

Семена бобовых культур – один из основных источников белка для значительной части населения планеты, является объектом пристального изучения.

Кроме непосредственно качественных показателей – содержания белка, крахмала и его составляющих, интерес представляют общие антиоксидантные свойства продуктов, полученных из семян бобовых, а также продуктов переработки (белковые изоляты, крахмалы, пищевые волокна) [11] и непосредственно количественный и качественный состав компонентов антиоксидантной активности. В работе А. Troszyńska и Е. Ciska представлено содержание и состав оксиароматических кислот в различных по окраске семенах гороха. И если в группе гидроксикоричных кислот существенных различий не наблюдали, то по содержанию гидроксibenзойных кислот была существенная разница – 4,18 мг/г у белосемянного гороха против 44,20 мг/г у пелюшки [12]. Среди десяти турецких сортов фасоли существенно выделялись по содержанию фенолов в семенах только два сорта [13]. Также отличия по содержанию полифенолов, флавонолов и антоцианинов были отмечены среди образцов фасоли с различной окраской семян и собственно оболочек [14, 15].

При прорастании семян существенно увеличивается суммарное содержание антиоксидантов, поэтому проростки могут быть дополнительным источником поступления в организм этих полезных веществ. Так, в проростках маша (*Phaseolus aureus* Roxb.) и нута (*Cicer arietinum* L.) суммарное содержание антиоксидантов на пятые сутки – 517 мг/100 г и 503 мг/100 г соответственно, значительно превышало показатели гречихи – 383 мг/100 г. Следует отметить, что через пять дней от начала прорастания скорость синтеза антиоксидантов в проростках сокращается и после десяти дней практически прекращается [16]. Увеличение антиоксидантной активности в проростках по сравнению с семенами наблюдали и у чечевицы [17].

Большое внимание уделяется изменениям общей антиоксидантной активности и изменению питательных свойств при различных технологических процессах приготовления пищи. А. Chakraborty и S. Bhattacharyya установили, что различные роды бобовых – чечевица (*Lens culinaris*), вигна (*Vigna radiate*), нут (*Cicer arietinum*), фасоль (красносемянная) (*Phaseolus vulgaris*) и соя (*Glycine max*) в зависимости от технологии приготовления (микроволновка, скороварка, кипячение) специфически изменяют антиоксидантную активность [18]. В некоторых работах показано, что предварительное замачивание семян фасоли в воде перед приготовлением снижает содержание антипитательных веществ и, соответственно, повышает питательную ценность [19, 20]. А. S. T. Ferreira et al. провели анализ содержания минеральных веществ (меди, железа, калия, цинка и др.) в образцах фасоли до и после приготовления в домашних условиях. Было установлено, что содержание минеральных веществ и изменение их концентрация в процессе приготовления имеет сортовую специфику [21]. В работе А. Segev, Н. Vadani et al. представлено изучение двух сортов двух разновидностей нута – desi (черные семена) и kabulі (кремовые семена) с разным содержанием биоактивных компонентов и уровнем антиоксидантной активности в семенах. Показано, что независимо от вида полученной продукции (хлеб с добавлением муки нута, фалафель, ростинг семян) в ней сохраняется, с небольшими изменениями, уровень антиоксидантной активности и содержания биоактивных компонентов, присущих сорту [22].

На фоне систематических исследований антиоксидантных свойств различных групп культур (зерновые, овощные, бобовые, эфиромасличные, лекарственные и пр.), проводящихся в ведущих научных учреждениях мира, отечественные работы по этой тематике крайне малочисленны [23].

Цель. В связи с вышеизложенным основная цель наших исследований состояла в оценке содержания и изомерного состава токоферолов (гидрофобный антиоксидант), а также определение общей антиоксидантной активности спирторастворимых (гидрофильных) компонентов семян образцов гороха из рабочей коллекции лаборатории селекции гороха Института растениеводства им. В. Я. Юрьева.

Материалы и методы. Материалом для исследований были 30 образцов гороха разного эколого-географического происхождения урожая 2011–2012, 2015–2016 гг. Сорта селекции Института растениеводства Харківський 85 (Х-85), Резонатор, Харківський 302(Х-302), Харківський янтарний (ХЯ), Харківський эталонний (ХЭ), Модус, Благодатный, Эффектный, Девіз, Глянс, Царевич, Оплот, Магнат, Чекригінський, Меценат, Корвет. Образец Л 3312 селекции Селекционно-генетического института, г. Одесса и Світ, создан-

ный совместно СГИ с Slachitelska stannica Hornastreda, Slovakia. А также сорта других оригинаторов: сорт Босфор (ВНИС, Украина), Рамонский 77 (ВНИИ сахарной свеклы и сахаров им. А. Л. Мазлумова, Россия), Дамир 2 (Научно-исследовательская коммерческо-производственная фирма «Мир-Сем»), Готик (Saatbau Linz Egen, Austria), Баритон (Saaten Union, GmbH), Камелот (Oseva Eximpo, Czech republic), Зекон (Selger, Czech republic), Маскара (KWS Lochow, GmbH). Два сорта овощного направления использования Виолена и Пегас селекции Сквирской селекционно-опытной станции овощеводства, Украина и образцы Green shaft и Hurst green shaft, полученные из Национального центра генетических ресурсов растений Украины.

Образцы рабочей коллекции выращивали в селекционном севообороте Института растениеводства (ИР) им. В. Я. Юрьева согласно методике полевого эксперимента [24].

Содержание и изомерный состав токоферолов определяли в соответствии с Национальным стандартом Украины ДСТУ EN 12822:2005 [25] методом изократической высокоэффективной жидкостной хроматографии с помощью системы Smartline (Knauer, Германия) в прямой фазе на колонке 250 × 4 мм (с предколонкой), заполненной EurospherII 110-5 Si под управлением ПО ClarityCrom. Подвижная фаза – 0,5 % изопропанол в н-гексане (Li Chrosolv “for liquid chromatography”), скорость потока 1,5 мл/мин, Т колонки – 30°C. Количественное определение содержания изомеров токоферола осуществлялось с помощью спектрофотометрического детектора при длине волны 295 нм. Содержание изомеров токоферола и их сумму выражали в мг/% на 100 г семян без учета влажности.

Оценку общей антиоксидантной активности (АОА) семян гороха проводили методом тест-системы со стабильным радикалом DPPH·(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) [26]. Оптическую плотность растворов измеряли на СФ Shimadzu UV-VIS – 1800 при длине волны 517 нм. Способность образца нейтрализовать стабильный свободный радикал DPPH (АОА) (%) определяется как (1):

$$\text{АОА (\%)} = 100 \times (A - B)/A \quad (1)$$

где А – светопоглощение контрольного образца (вместо спиртового экстракта семян к раствору DPPH добавляется 80 % раствор спирта),

В – светопоглощение опытного образца.

Эквивалент хлорогеновой кислоты рассчитывали на основании построения калибровочного графика. Анализы проводили в трехкратной повторности, результаты исследований обрабатывали статистически, по коэффициенту вариации определяли фенотипическую, генотипическую и экологическую изменчивость [24, 27].

Результаты исследований. Проведенная оценка общей АОА28 образцов гороха зернового направления использования показала диапазон изменчивости в 2015 г. в интервале 39,89 %–50,34 % (эквивалент хлорогеновой кислоты (эхгк) 374,6–473,1 мкг/г), а в 2016 г. от 41,56 % до 61,46 % (эхгк 559,5–829,1 мкг/г) (табл. 1).

Следует отметить, что показатели общей АОА гороха в 2016 г. были немного выше, чем в 2015 г., так среднее значение антиоксидантной активности по опыту в 2015 г. составило 47,33 % (эхгк – 443,7 мкг/г), а в 2016 г. – 52,39 % (эхгк – 706,1 мкг/г).

Среди данной выборки образцов зернового направления использования максимальные показатели (в среднем) общей АОА были у образцов Рамонский 77 – 55,69 % (эхгк – 649,2 мкг/г), Корвет – 55,36 % (эхгк – 643,8 мкг/г), Баритон – 55,01 % (эхгк – 639,9 мкг/г), Глянс – 53,91 % (эхгк – 624,4 мкг/г), Камелот – 52,51 % (эхгк – 605,7 мкг/г). Следует отметить, что показатели антиоксидантной активности у этих образцов и в 2015 г., и в 2016 г. достоверно превышали среднюю по опыту.

Минимальные показатели общей АОА были у образцов Світ 46,70 % (эхгк – 542,0 мкг/г), Харківський янтарний – 46,70 % (эхгк – 540,2 мкг/г), Зекон – 46,60 % (эхгк – 546,6 мкг/г), Чекригінський – 45,35 % (эхгк – 510,6 мкг/г), Царевич – 44,32 % (эхгк – 507,8 мкг/г). Но у образцов Царевич и Харківський янтарний показатели антиоксидантной активности были существенно ниже средней по опыту как в 2015 г., так в 2016 г.

Максимальные и минимальные показатели общей антиоксидантной активности образцов гороха, 2015–2016 гг.

Образец	Антиоксидантная активность, %			Эквивалент хлорогеновой кислоты, мкг/г		
	2015 г.	2016 г.	среднее	2015 г.	2016 г.	среднее
Рамонский 77	49,92*	61,46*	55,69	469,2*	829,1*	649,2
Корвет	50,34*	60,38*	55,36	473,1*	814,5*	643,8
Баритон	49,89*	60,13*	55,01	468,8*	811,0*	639,9
Глянс	50,14*	57,67*	53,91	471,0*	777,7*	624,4
Камелот	50,04*	54,97*	52,51	470,2*	741,2	605,7
Світ	42,89**	50,51	46,70	403,6	680,3	542,0
Харківський янтарний	43,65**	49,74**	46,70	410,0	670,3	540,2
Зекон	39,89**	53,31	46,60	374,6	718,6	546,6
Чекригінський	49,14	41,56**	45,35	461,7	559,5	510,6
Царевич	43,74**	44,90**	44,32	410,9	604,7	507,8
Среднее	47,33	52,39	–	443,7	706,1	–
НСР ₀₅	1,70	2,59	–	42,7	41,5	–
V, %	6,32	8,75	–	16,99	10,37	–

Примечание: * – достоверно превышают среднюю, ** – достоверно ниже средней

Незначительный коэффициент вариации (V) признака общей АOA за годы исследований V= 6,32 % в 2015 г. и V= 8,75 % в 2016 г. подтверждает однородность выборки, но не исключает, что для другой, более широкой выборки образцов могут быть получены более высокие коэффициенты вариации и значения общей антиоксидантной активности.

По данной выборке диапазон фенотипической изменчивости общей АOA составил 39,89 % – 61,46 % (рис 1).

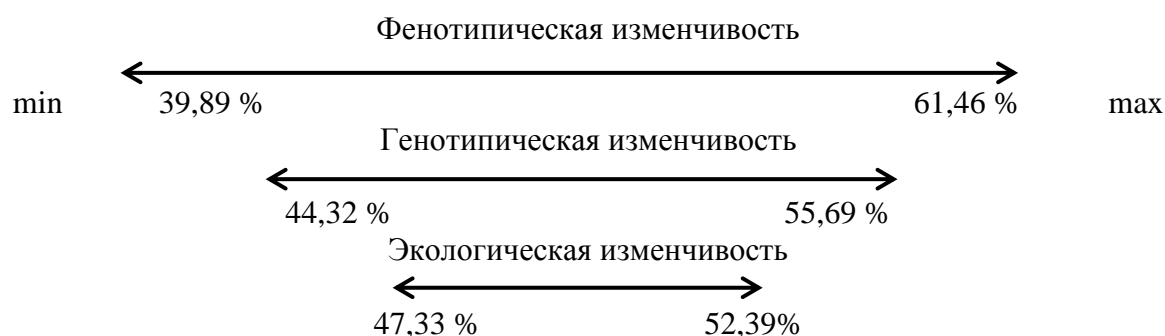


Рис. 1. Лимиты модификационного, генотипического и общего фенотипического варьирования образцов гороха, 2015-2016 гг.

При этом генетическое варьирование было уже и составило 44,32 % – 55,69 %. А при взаимодействии генотипа и среды (экологическая изменчивость) лимит варьирования признака стал еще меньшим. Для эффективного отбора важно всестороннее изучение характера модификационного, генотипического и общего фенотипического варьирования, а также наследуемости признака на модельных и гибридных популяциях.

В таблице 2 представлены результаты изучения общей АOA, полученные на образцах разного эколого-географического происхождения (1) и образцах семян гороха селекции ИР им. В. Я. Юрьева (2).

В первой группе образцов значение общей АOA наибольшим было у образца Рамонский 77 – 55,69 % (эхгк – 649,2 мкг/г), а наименьшим у образца Зекон – 46,60 % (эхгк – 546,6 мкг/г).

Таблица 2

**Показатели общей антиоксидантной активности разных групп образцов гороха,
2015–2016 гг.**

Происхождение образцов	Антиоксидантная активность, %		V, %	Эквивалент хлорогеновой кислоты, мкг/г		V, %
	min-max	x		min-max	x	
	разного эколого-географического происхождения	46,60–55,69		50,40	6,3	
селекции Института растениеводства им. В. Я. Юрьева	44,32–55,36	49,53	5,9	507,8–643,8	569,5	6,5

Во второй группе образцов гороха наибольшее значение общей АОА в среднем было у образца Корвет – 55,36 % (эхгк – 643,8 мкг/г), наименьшее – у образца Царевич – 44,32 % (эхгк – 507,8 мкг/г). Средние по группам составили 50,40 % и 49,53 % соответственно. Также по выборкам был незначительный коэффициент вариации по признаку общей АОА за годы исследований. На основании полученных результатов, можно сделать предположение об отсутствии влияния на показатели общей антиоксидантной активности эколого-географического происхождения образцов гороха в данной выборке образцов.

По выборке образцов зернового направления использования взаимосвязь между общей АОА и эквивалентом хлорогеновой кислоты была достоверной и составила $r=0,530$. Между общей АОА, эквивалентом хлорогеновой кислоты и урожайностью, а также содержанием белка в семенах гороха корреляция была слабой и незначимой. Таким образом, вполне возможно, что в коллекционном материале гороха зернового направления использования существуют образцы с высоким содержанием белка в семенах и высоким уровнем общей АОА или же такой материал может быть получен экспериментальным путем.

Анализ содержания и изомерного состава токоферолов в семенах гороха с различным состоянием генов *R* и *Rb*, показал, что более 90 % токоферолов представлены γ -изомером (табл. 3).

Таблица 3

Содержание и изомерный состав токоферолов в семенах гороха, 2011–2012 гг.

Образец	Токоферолы								Σ токоферолов (мг/%)
	α -Т		β -Т		γ -Т		δ -Т		
	мг/%	% от Σ	мг/%	% от Σ	мг/%	% от Σ	мг/%	% от Σ	
Царевич (<i>RRRbRb</i>)	0,09	0,65	0,02	0,57	4,85	90,73	0,35	7,78	5,25
Green shaft (<i>rrRbRb</i>)	0,02	0,26	0,06	0,83	6,40	94,22	0,33	4,83	6,80
Hurst green shaft (<i>rrRbRb</i>)	0,05	0,64	0,07	0,89	7,51	94,79	0,29	3,70	7,92
Виолена (<i>RRrbrb</i>)	0,19	1,52	0,06	0,75	10,19	93,46	0,54	4,61	10,94
НСР ₀₅	0,04	–	0,04	–	1,60	–	0,09	–	–

По количеству γ -токоферолов образец Виолена (*RRrbrb*) существенно превышал остальные образцы. Показатели образца Hurst green shaft (*rrRbRb*), существенно отличались от показателей образца Царевич (*RRRbRb*), но не имели значимого отличия от образца Green shaft.

Суммарное количество токоферолов было выше у образца Виолена (*RRrbrb*) – 10,94 мг/%, у образцов овощного направления использования Green shaft (*rrRbRb*) – 6,80 мг/% и Hurst green shaft (*rrRbRb*) – 7,92 мг/%. Наименьшее суммарное количество токоферолов было у образца зернового направления использования Царевич (*RRRbRb*) – 5,25 мг/%.

Были установлены значения общей АОА образцов гороха с различным состоянием генов *R* и *Rb* (табл. 4). Показатели общей АОА образца зернового направления использования Рамонский 77 (*RRRbRb*) и образца овощного направления использования Виолена (*RRrbrb*) существенно не отличались – 55,69 % (эхгк – 649,2 мкг/г) и 57,45 % (эхгк – 651,3 мкг/г) соответственно, но достоверно превышали значения образца зернового направления Царевич – 44,32 % (эхгк – 507,8 мкг/г) и образца овощного направления использования Пегас – 53,05 % (эхгк – 603,8 мкг/г).

Таблица 4

Показатели общей антиоксидантной активности образцов гороха с разным аллельным состоянием генов *R* и *Rb*, 2015–2016 гг.

Образец	Антиоксидантная активность, %			Эквивалент хлорогеновой кислоты, мкг/г		
	2015 г.	2016 г.	среднее	2015 г.	2016 г.	среднее
Рамонский 77 (<i>RRRbRb</i>)	49,92	61,46	55,69	469,2	829,1	649,2
Царевич (<i>RRRbRb</i>)	43,74	44,90	44,32	410,9	604,7	507,8
Пегас (<i>rrRbRb</i>)	54,55	51,54	53,05	512,8	694,7	603,8
Виолена (<i>RRrbrb</i>)	60,41	54,49	57,45	568,0	734,6	651,3
НСР ₀₅	–	–	1,85	–	–	27,71

Выводы. Таким образом, проведенная оценка образцов гороха на общую антиоксидантную активность показала диапазон изменчивости среди образцов зернового направления использования от 44,32 % – 55,69 %. Для подтверждения предположения об отсутствии влияния на показатели общей АОА эколого-географического происхождения образцов гороха необходимо проведение дальнейших исследований с привлечением другой, более широкой выборки образцов.

Отмечено отсутствие значимых связей между общей АОА, эквивалентом хлорогеновой кислоты и урожайностью, а также содержанием белка в семенах гороха.

Показано, что более 90 % токоферолов семян гороха представлены γ -изомером. А для подтверждения значимых отличий по общей АОА образца гороха носителя гена *rb*, необходимо провести анализ выборки образцов национальной коллекции вида *Pisum sativum* L.

Список использованных источников

1. Moran J. F., Becana M., Iturbe-Ormaetxe I. et al. Drought induces oxidative stress in pea plant. 1994. Available from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301513566>.
2. Новикова Н. Е., Зотиков В. И., Фенин Д. М. Механизмы антиоксидантной защиты при адаптации генотипов гороха (*Pisum sativum* L.) к неблагоприятным абиотическим факторам среды. 2011. Режим доступа: <http://www.ej.orelsau.ru>.
3. Gogorcena Y., Iturbe-Ormaetxe I., Escuredo P. R., Becana M. Antioxidant defenses against activated oxygen in pea nodules subjected to water stress. 1995. Available from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US199770047525>.
4. Шарафутдинова Е. Н., Иванова А. В., Матерн А. И., Брайнина Х. З. Качество пищевых продуктов и антиоксидантная активность. Режим доступа: <http://www.aik-journal.urfu.ru/periodical/2011/Aik-2011-15-281.pf>.
5. Halvorsen B. L., Carlsen M. H., Phillips K. M. et al. Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. Available from: <http://ajcn.nutrition.org/content/84/1/95.long>.
6. Carlsen M. H., Halvorsen B. L., Holte K. et al. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. 2010. Available from: <http://www.nutrition.com/content/9/1/3>.
7. Яшин Я. И., Рыжнев В. Ю., Яшин А. Я., Черноусова Н. И. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и влияние на здоровье и старение человека. М.: ТрансЛит, 2009. 211 с.

8. Patterson C. A., Maskus Y., Dupasquier C. Pulse crops for health. 2009. Available from: – <http://www.pulsecanada.com/upload/76/ad/76adaac777d3a3f3c413711f1b99a7b8/Pulse-Crop-Fof-Health-CFW-54-3-0108.pdf>. DOI: 10.1094/CFW-54-3-0108.
9. Hamid A. A., Aiyelaagbe O. O., Usman L. A., Ameen O. M., Lawal A. Antioxidants: Its medicinal and pharmacological applications. 2010. Available from: <http://www.academicjournals.org/AJPAC>.
10. Becker E. M., Nissen L. R., Skibsted L. H. Antioxidant evaluation protocols: food quality or health effects. 2004. Available from: <http://www.panelamonitor.org> DOI: 10.1007/s00217-004-1012-411.
11. Agboola S. O., Mofolasayo O. A., Watts B. M., Aluko R. E. Functional properties of yellow field pea (*Pisum sativum* L.) seed flours and the *in vitro* bioactive properties of their polyphenols. 2010. Available from: <http://www.elsevier.com/locate/foodres>. DOI:10.1016/j.foodres.2009.07.013.
12. Troszyńska A., Ciska E. Phenolic compounds of seed coats of white and coloured varieties of pea (*Pisum sativum* L.) and their total antioxidant activity. 2002. Available from: <http://agriculturejournal.cz/publicFiles/50862.pdf>
13. Orak. H. H., Karamać M., Orak A., Amarowicz R. Antioxidant potential and phenolic compounds of some widely consumed turkish white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. 2016. Available from: <http://journal.pan.olsztyn.pl> DOI:10.1515/pjfn-2016-0022.
14. Dave Oomah B., Corbe A., Balasubramanian P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hulls. 2010. Available from: <http://www.pubs.acs.org/JAFC> DOI:10.1021/jf1011193.
15. Nyau V., Prakash S., Rodrigues J., Farrant J. Screening different zambian market classes of common beans (*Phaseolus vulgaris*) for antioxidant properties and total phenolic profiles. 2016. Available from: <http://pubs.sciepub.com/jfnr/4/4/6> DOI:10.12691/jfnr-4-4-6.
16. Яшин А., Яшин Я., Федина П., Черноусова Н. Определение природных антиоксидантов в пищевых злаках и бобовых культурах. 2012. Режим доступа: <http://www.j-analytics.ru>.
17. Gharachorloo M., Tarzi B. G., Baharinia M., Hemaci A. H. Antioxidant activity and phenolic content of germinated lentil (*Lens culinaris*). 2012. Available from: <http://www.academicjournals.org/JMPR> DOI:10.5897/JMPR12.248.
18. Chakraborty A., Bhattacharyya S. Thermal processing effects on *in vitro* antioxidant activities of five common indian pulses. 2014. Available from: <http://www.japsonline.com> DOI:10.7324/JAPS.2014.40512.
19. Valdés S. T., Coelho C. M. M., Michelluti D. J., Cardoso V. L., Tramonte G. Association of genotype and preparation methods on the antioxidant activity, and antinutrients in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). 2011. Available from: <http://www.elsevier.com/locate/lwt> DOI:10.1016/j.lwt.2011.06.014.
20. Fernandes A. C., Nishida W., Da Costa R. P. Proença Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: a review. 2010. Available from: <http://www.nuppre.ufsc.br/files/2014/04/2010-Fernandes-et-al.pdf>. DOI:10.1111/j.1365-2621.2010.02395.x.
21. Ferreira A. S. T., Naozuka J., Kelmer G. A. R., Oliveira P. V. Effects of domestic cooking on elemental chemical composition of beans species (*Phaseolus vulgaris* L.). 2014. Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/972508>.
22. Segev A., Badani H., Galili L., Novav R., Kapulnik Y., Shomer I., Galili S. Effects of baking, roasting and frying on total polyphenols and antioxidant activity in colored chickpea seeds. 2012. Available from: <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2012.33053>.
23. Рибалка О. І., Поліщук С. С., Поздняков В. В., Діденко С. Ю. Антиоксидантна активність та інші характеристики харчової цінності зерна ячменю. Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія : Біологія. 2016. Вип. 3. С. 64–71. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnaui_biol_2016_3_9.
24. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос. 1979. 416 с.
25. Продукти харчові. Визначення вмісту вітаміну Е методом рідинної хроматографії високо роздільної здатності вимірювання α -, β -, γ -, δ -токоферолів (EN 12822:2000,

ІДТ):ДСТУ EN 12822:2005. [Чинний від 2006-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 15с.

26. Mishra K., Ojha H., Chaudhury N. K. Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results.2012. Available from:<http://www.elsevier.com/locate/foodchem>. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.07127.
27. Гужов Ю. Л., Малюженец Н. С. Применение ЭВМ в селекционно-генетических исследованиях. М.: Изд-во УДН, 1986. 79 с.

References

1. Moran JF, Becana M, Iturbe-Ormaetxe I, Frechilla S, Klucas RV, Aparisio-Tejo P. Drought induces oxidative stress in pea plant. 1994. Available from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301513566>.
2. Novikova NE, Zotikov VI, Fenin DM. Mechanisms of antioxidant protection in adaptation of pea genotypes (*Pisum sativum* L.) to unfavorable environmental abiotic factors. 2011. Available from:<http://www.ej.orelsau.ru>.
3. Gogorcena Y, Iturbe-Ormaetxe I, Escuredo PR, Becana M. Antioxidant defenses against activated oxygen in pea nodules subjected to water stress. 1995. Available from:<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US199770047525>.
4. Sharafutdynova EN, Ivanova AB, Matern AI, Braynina KhZ. Food quality and antioxidant activity. Available from: <http://www.aik-journal.urfu.ru/periodical/2011/Aik-2011-15-281.pdf>
5. Halvorsen BL, Carlsen MH, Phillips KM, Bøhn S, Holte K, Jacobs DJ Jr, Blomhoff R. Content of redox-active compounds (ie, antioxidants in foods consumed in the United States. 2006. Available from: <http://ajcn.nutrition.org/content/84/1/95.long>.
6. Carlsen MH, Halvorsen BL, Holte K et al. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. 2010. Available from: <http://www.nutrition.com/content/9/1/3>.
7. Yashin YaI, Ryzhnev VYu. Yashin AYa, Chernousova NI. Natural antioxidants. Content in food and effects on human health and aging. Moscow: TransLit; 2009. 211 p.
8. Patterson CA, Maskus Y, Dupasquier C. Pulse crops for health. 2009. Available from: <http://www.pulsecanada.com/upload/76/ad/76adaac777d3a3f3c413711f1b99a7b8/Pulse-Crop-Fof-Health-CFW-54-3-0108.pdf>. DOI: 10.1094/CFW-54-3-0108.
9. Hamid AA, Aiyelaagbe OO, Usman LA, Ameen OM, Lawal A. Antioxidants: Its medicinal and pharmacological applications. 2010. Available from: <http://www.academicjournals.org/AJPAC>.
10. Becker EM, Nissen LR, Skibsted LH. Antioxidant evaluation protocols: food quality or health effects. 2004. Available from: <http://www.panellamonitor.org> DOI: 10.1007/s00217-004-1012-411.
11. Agboola SO, Mofolasayo OA, Watts BM, Aluko RE. Functional properties of yellow field pea (*Pisum sativum* L.) seed flours and the *in vitro* bioactive properties of their polyphenols. 2010. Available from: <http://www.elsevier.com/locate/foodres>. DOI:10.1016/j.foodres.2009.07.013.
12. Troszyńska A, Ciska E. Phenolic compounds of seed coats of white and coloured varieties of pea (*Pisum sativum* L.) and their total antioxidant activity. 2002. Available from: <http://agriculturejournal.cz/publicFiles/50862.pdf>
13. Orak HH, Karamac M, Orak A, Amarowicz R. Antioxidant potential and phenolic compounds of some widely consumed turkish white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. 2016. Available from: <http://journal.pan.olsztyn.pl> DOI:10.1515/pjfn-2016-0022.
14. Dave Oomah B, Corbe A, Balasubramanian P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) hulls. 2010. Available from: <http://www.pubs.acs.org/JAFC> DOI:10.1021/jf1011193.
15. Nyau V, Prakash S, Rodrigues J, Farrant J. Screening different zambian market classes of common beans (*Phaseolus vulgaris*) for antioxidant properties and total phenolic profiles. 2016. Available from: <http://pubs.sciepub.com/jfnr/4/4/6> DOI:10.12691/jfnr-4-4-6.
16. Yashin A, Yashin Ya, Fedina P, Chernousova N. Determination of natural antioxidants in

- food cereals and legumes. 2012. Available from: <http://www.j-analytics.ru>.
17. Gharachorloo M, Tarzi BG, Baharinia M, Hemaci AH. Antioxidant activity and phenolic content of germinated lentil (*Lens culinaris*). 2012. Available from: <http://www.academicjournals.org/JMPR> DOI:10.5897/JMPR12.248.
 18. Chakraborty A, Bhattacharyya S. Thermal processing effects on in vitro antioxidant activities of five common indian pulses. 2014. Available from: <http://www.japsonline.com> DOI:10.7324/JAPS.2014.40512.
 19. Valdés ST, Coelho CMM, Michelluti DJ, Cardoso VL, Tramonte G. Association of genotype and preparation methods on the antioxidant activity, and antinutrients in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). 2011. Available from: <http://www.elsevier.com/locate/lwt> DOI:10.1016/lwt.2011.06.014.
 20. Fernandes AC, Nishida W, Costa Proença da RP. Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: a review. 2010. Available from: <http://www.nuppre.ufsc.br/files/2014/04/2010-Fernandes-et-al.pdf>. DOI:10.1111/j.1365-2621.2010.02395.x.
 21. Ferreira AST, Naozuka J, Kelmer GAR, Oliveira PV. Effects of domestic cooking on elemental chemical composition of beans species (*Phaseolus vulgaris* L.). 2014. Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/972508>.
 22. Segev A, Badani H, Galili L, Hovav R, Kapulnik Y, Shomer I, Galili S. Effects of baking, roasting and frying on total polyphenols and antioxidant activity in colored chickpea seeds. 2012. Available from: <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2012.33053>.
 23. Rybalka OI, Polishchuk SS, Pozdnyakov VV, Didenko SYu. Antioxidant activity and other characteristics of the nutrient value of barley grain. Visnyk Kharkivskogo Natsionalnogo agrarnogo universytetu. Seriya Biologiya. 2016; 3: 64-71. Available from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnu_biol_2016_3_9.
 24. Dospikhov BA. Methods of field experimentation (with the fundamentals of statistical processing of study results). Moscow: Kolos; 1979: 416 p.
 25. Food products. Determination of vitamin E content by high performance liquid chromatography for α -, β -, γ -, δ -tocopherols. (EN 12822:2000, IDT): ДСТУ EN 12822:2005. [valid from 01.07.2006]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart, 2006. 15 p.
 26. Mishra K, Ojha H, Chaudhury NK. Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. 2012. Available from: <http://www.elsevier.com/locate/foodchem>. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.07127.
 27. Gugov YuL, Maliugenets NS. The use of computers in breeding-genetic studies. Moscow: Izdatelstvo UDN, 1986: 79 p.

АНТИОКСИДАНТНІ ВЛАСТИВОСТІ НАСІННЯ ГОРОХУ (*PISUM SATIVUM* L.)

Василенко А. О., Поздняков В. В., Анциферова О. В., Безуглий І. М.
Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, Україна

Вступ. Антиоксиданти відіграють важливу роль в регулюванні вільно-радикальних перетворень в організмі рослини в процесі онтогенезу, істотно впливаючи на його стан. Окрім стійкості рослинного організму до абіотичних факторів, антиоксиданти, що містяться в продуктах рослинного походження, можуть позитивно впливати на здоров'я людини і таким чином є складовою фізіологічної цінності продуктів харчування. Якщо в провідних наукових установах світу систематично проводять вивчення антиоксидантних властивостей різних груп культур (зернові, овочеві, бобові, ефіроолійні, лікарські і інше), то вітчизняні дослідження в цьому напрямі вкрай нечисельні.

Мета наших досліджень полягала в проведенні оцінок вмісту та ізомерного складу токоферолів (гідрофобний антиоксидант), а також визначення загальної антиоксидантної активності спирторозчинних (гідрофільних) компонентів насіння зразків гороху з робочої колекції лабораторії селекції гороху Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва.

Методика та вихідний матеріал. Вміст та ізомерний склад токоферолів визначали у відповідності до Національного стандарту України ДСТУ EN 12822:2005. Загальну антиоксидантну активність (АОА) насіння гороху проводили методом із стабільним радикалом DPPH·(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Матеріалом для досліджень були 30 зразків гороху різного еколого-географічного походження (сорти селекції Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва, а також сорти інших оригінаторів) урожаю 2011–2012, 2015–2016 рр.

Результати та обговорення. При встановленні загальної АОА 28 зразків гороху зернового напрямку використання було отримано діапазон мінливості в 2015 р в інтервалі 39,89%–50,34 % (еквівалент хлорогенової кислоти (ехгк) 374,6–473,1 мкг/г), а у 2016 р от 41,56 % до 61,46 % (ехгк 559,5–829,1 мкг/г). Середні значення по досліді у 2015 р. і 2016 р. становили 47,33 % (ехгк – 443,7 мкг/г) та 52,39 % (ехгк – 706,1 мкг/г) відповідно. В дослідній вибірці фенотипова мінливість загальної АОА становила 39,89 % – 61,46 %, екологічної мінливість 47,33 % – 52,39 %, генотипова мінливість 44,32 % – 55,69 %. На підставі отриманих результатів зроблено висновок про відсутність впливу еколого-географічного походження на рівень загальної АОА зразків гороху в експериментальній вибірці. Кореляції між загальною АОА (ехгк) та урожайністю, а також вмістом білка в насінні гороху були слабкі та недостовірні.

При аналізі вмісту та ізомерного складу токоферолів в насінні гороху з різним станом генів *R* та *Rb*, було встановлено, що більше 90 % токоферолів є γ -ізомерами. Загальна кількість токоферолів була притаманна зразку овочевого напрямку використання Віолена (*RRrbrb*) – 10,94 мг/%.

Висновки. Таким чином, проведена оцінка зразків гороху зернового напрямку використання на загальну антиоксидантну активність показала діапазон мінливості 44,32 % – 55,69 %. Для підтвердження припущення про відсутність впливу на показники загальної АОА еколого-географічного походження зразків гороху, необхідно проведення додаткових дослідів з залученням іншої, більшої вибірки зразків. Також відмічено відсутність істотних зв'язків між загальною АОА (ехгк) і урожайністю та вмістом білка в насінні гороху. Показано, що більше 90 % токоферолів насіння гороху є γ -ізомерами. Для підтвердження достовірних відмінностей за загальною АОА зразка гороху носія гену *rb*, необхідним є проведення аналізу на вибірці зразків з національної колекції виду *Pisum sativum* L. з різним станом генів *R* та *Rb*.

Ключові слова: горох (*Pisum sativum* L.), насіння, антиоксидантна активність, DPPH, гени *R*, *rb*

ANTIOXIDANT PROPERTIES OF PEA (*PISUM SATIVUM* L.) SEEDS

Vasylenko A. O., Pozdnyakov V. V., Antsyferova O. V., Bezyglyi I. M.
Plant Production Institute nd.a.V.Ya.Yuryev NAAS, Ukraine

Antioxidants play an important role in regulating free radical transformations in plants during ontogenesis, conspicuously affecting their state. In addition to the plant resistance to abiotic factors, antioxidants contained in plant products can have a positive effect on human health and thus make food physiologically valuable. Unlike systematic studies of antioxidant properties of different crops (cereals, vegetables, legumes, odoriferous plants, medicinal plants, etc.) conducted in leading research institutions of the world, domestic investigations on this subject are extremely scarce.

The aim and tasks of the study. The objective of our study was to assess the content and isomeric composition of tocopherols (hydrophobic antioxidant) as well as to determine the total antioxidant activity of ethanol-soluble (hydrophilic) components from seeds of pea accessions of the working collection of the Laboratory of Pea Breeding of the Plant Production Institute named after VYa Yuryev.

Materials and methods. The content and isomeric composition of tocopherols were determined in compliance with the National Standard of Ukraine DSTU EN 12822: 2005. The total antioxidant activity (AOA) in pea seeds was evaluated with stable radical DPPH • (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). All the experiments were carried out in triplicate. The test material was 30 pea accessions of different eco-geographical origin (varieties bred in the Plant Production Institute as well as varieties of other originators) harvested in 2011-2012 and 2015-2016.

Results and discussion. The evaluation of the total AOA of 28 grain pea accessions showed the variability range in the range of 39.89% -50.34% in 2015 (equivalent of chlorogenic acid (AChGA) 374.6-473.1 µg/g), and in 2016 the range was 41.56% - 61.46% (AChGA 559.5-829.1 µg/g). The average AOA across the experiment was 47.33% (AChGA – 443.7 µg/g) and 52.39% (AChGA - 706.1 µg/g) in 2015 and 2016, respectively. In this sample, the range of phenotypic variability of the total AOA was 39.89% - 61.46%, of the environmental variability - 47.33% - 52.39%, and of the genotypic variability - 44.32% -55.69%. Basing on the results obtained, we assume that the eco-geographical origin of pea accessions does not influence the total AOA. The correlations between the total AOA (equivalent of chlorogenic acid) and the yield capacity as well as between the total AOA and protein content in pea seeds were weak and insignificant. Analysis of the content and isomeric composition of tocopherols in pea seeds with different states of the *R* and *Rb* genes showed that over 90% of tocopherols are represented by γ -isomer. The total amount of tocopherols was higher in accession 'Violena' (*RRrbrb*) - 10.94 mg/%. .

Conclusions. Thus, the evaluation of pea accessions for the total antioxidant activity showed the range of variability across grain pea accessions of 44.32% to 55.69%. To confirm the assumption about absence of effect of the eco-geographical origin of pea accessions on the total AOA, further investigations should be carried out in a larger sample. No significant relationships between the total AOA and the yield capacity or the protein content in pea seeds were noted. It was shown that over 90% of pea tocopherols were represented by γ -isomer. To confirm significant differences in the total AOA of the pea accession - the *rb* gene carrier, it is necessary to analyze the sample of national collection accessions of the *Pisum sativum* L. species.

Keywords: pea (*Pisum sativum* L.), seeds, antioxidant activity, DPPH, *R* and *rb* genes

УДК 631.528:635.24

БІОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОЛІЇ НАСІННЯ МУТАНТНИХ ФОРМ СОНЯШНИКУ

Васько В. О.¹, Супрун О. Г.²

¹ Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, Україна

² Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, Україна

У Харківському національному аграрному університеті ім. В. В. Докучаєва (ХНАУ) проведено дослідження зі створення мутантних форм соняшнику зі змінним складом олії. Мутанти одержано в результаті обробки насіння 12 самозапилених ліній соняшника супермутагеном диметилсульфат (ДМС) у концентраціях 0,01 % і 0,05 % та опромінення γ -променями в дозах 120 Гр і 150 Гр. У M_3 виділено зразки з підвищеним вмістом бегенової (0,80–0,85 %), лінолевої (60,57–70,79 %), пальмітолеїнової (0,71–0,80 %) кислоти. Виділені мутантні форми можна рекомендувати до використання в селекційному процесі як генетичні джерела цінних господарських селекційних та господарських ознак.