

**А. М. Пашкевич**<sup>1</sup>, аспирант, заведующий сектором бобовых овощных культур

**А. И. Чайковский**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор

**Ж. А. Рупасова**<sup>2</sup>, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией химии растений

**В. Н. Решетников**<sup>2</sup>, академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор,

заведующий отделом биохимии и биотехнологии растений

**В. С. Задаля**<sup>2</sup>, научный сотрудник

<sup>1</sup> РУП «Институт овощеводства», аг. Самохваловичи, Минский район

<sup>2</sup> ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», г. Минск

## **ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФОНДА ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ПИГМЕНТОВ МИКРОЗЕЛЕНИ ГОРОХА ОВОЩНОГО**

### **РЕЗЮМЕ**

*Приведены результаты исследования генотипических особенностей пигментного фонда пластид микрозелени 10 сортов гороха овощного – Сладыч, Павлуша, Белорусский овощной, Преладо, Фея, Прометей, Воронежский зеленый, Радован, Торнадо и Куявяк. Установлено, что наиболее насыщенным фондом фотосинтезирующих пигментов характеризовались образцы микрозелени сортов Фея и в меньшей степени Радован и Преладо, тогда как наиболее обедненным – образцы микрозелени сорта Куявяк.*

*Ключевые слова:* горох овощной; сорта; микрозелень; фотосинтезирующие пигменты; хлорофиллы; каротиноиды.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В связи со значительным увеличением в последние годы спроса у населения республики на продукцию микрозелени овощных культур, в том числе гороха овощного, как источника широкого спектра полезных веществ, особую актуальность обретает совершенствование технологии ее производства, направленное на улучшение продукционных и качественных показателей. В связи с этим представляется особо актуальным выявление сортообразцов данной культуры, микрозелень которых обладает наиболее высокими характеристиками пигментного фонда пластид, в значительной степени определяющими темпы продуцирования фитомассы и биосинтеза органических соединений. При этом особо важное значение обретает сравнительное

исследование содержания в микрозелени наиболее ценных его компонентов с высокой антиоксидантной активностью – хлорофиллов и каротиноидов, в том числе хлорофиллов *a* и *b*, восстановленных углеводов –  $\beta$ -каротина и их окисленных производных – ксантофиллов.

С целью выявления наиболее перспективных для производства микрозелени сортов образцов гороха овощного на базе коллекции сортов образцов данной культуры в Институте овощеводства были осуществлены исследования влияния генотипа растений на содержание в данной продукции фотосинтезирующих пигментов, что представляет особый научный и практический интерес.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования пигментного фонда образцов микрозелени 10 сортов гороха овощного – Слodyч, Павлуша, Белорусский овощной, Преладо, Фея, Прометей, Воронежский зеленый, Радован, Торнадо и Куявяк, полученных в одинаковых контролируемых условиях в растительной комнате в июне 2022 г. на торфяном субстрате, выполнены в лаборатории химии растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси. В качестве эталонного объекта был принят районированный сорт Слodyч.

В свежих усредненных пробах растительного материала определяли содержание: фотосинтезирующих пигментов – хлорофиллов *a* и *b* по методу Т. Н. Годнева [2, 6],  $\beta$ -каротина и суммы каротиноидов – по ГОСТ 8756.22-80 [4], сухих веществ – по ГОСТ 28561-90 [3]. Все измерения и определения осуществляли в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [1], с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [5].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Результаты исследований, приведенные в таблице 1, показали, что суммарное содержание хлорофиллов в сухой массе микрозелени исследуемых сортов образцов гороха овощного было весьма высоким и изменялось в диапазоне 533,6–1 237,0 мг/100 г, в том числе хлорофилла *a* – 371,9–845,2 мг/100 г, хлорофилла *b* – 161,6–391,8 мг/100 г. При этом суммарное содержание желтых фотосинтезирующих пигментов в сухом веществе микрозелени гороха варьировалось в сортовом ряду от 112,6 до 294,4 мг/100 г, в том числе  $\beta$ -каротина – от 21,6 до 67,7 мг/100 г, ксантофиллов – от 72,4 до 256,4 мг/100 г. Заметим, что лидирующее положение в накоплении и зеленых, и желтых пигментов принадлежало сорту Фея, тогда как наименее обеспеченным ими следовало признать сорт Куявяк. Вместе с тем производные характеристики пигментного фонда пластид у исследуемых объектов – соотношения количества хлорофиллов *a* и *b*, хлорофиллов и каротиноидов оказались весьма сходными, что подтверждалось узостью диапазонов их варьирования в сортовом ряду, соответствовавших значениям 2,0–2,3 и 3,6–4,8. При этом лишь в редких случаях расхождения с контролем по данным показателям оказались

∞ Таблица 1 – Содержание хлорофиллов и каротиноидов в микрозелени сортообразцов гороха овощного, мг/100 г сухой массы

Таксон	Хлорофиллы											
	a			b			a + b			a/b		
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t		$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t		$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t		$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	
Слодыч – эталон	554,4 ± 4,5	–		274,7 ± 0,1	–		829,1 ± 4,4	–		2,0 ± 0,01	–	
Павлуша	529,1 ± 2,8	-4,8*		259,1 ± 2,5	-6,1*		788,2 ± 0,2	-9,4*		2,0 ± 0,01	0,7	
Белорусский овощной	572,9 ± 2,2	3,7*		280,5 ± 1,1	5,3*		853,4 ± 3,3	4,4*		2,0 ± 0,01	1,4	
Прелада	628,6 ± 0,8	16,3*		298,9 ± 3,1	7,7*		927,5 ± 3,9	16,8*		2,1 ± 0,01	1,3	
Фея	845,2 ± 13,7	20,2*		391,8 ± 11,7	10,0*		1237,0 ± 0,5	14,9*		2,2 ± 0,11	1,4	
Прометей	598,5 ± 2,3	8,7*		298,1 ± 6,8	3,5*		896,6 ± 9,1	6,7*		2,0 ± 0,01	-0,2	
Воронежский зеленый	617,6 ± 1,0	13,7*		310,1 ± 12,2	2,9*		927,7 ± 13,2	7,1*		2,0 ± 0,10	-0,3	
Радован	685,3 ± 2,0	26,5*		321,1 ± 4,2	11,0*		1006,3 ± 6,3	23,2*		2,1 ± 0,01	1,2	
Торнадо	559,7 ± 1,9	1,1		281,4 ± 1,7	3,9*		841,2 ± 3,6	2,1		2,0 ± 0,01	-1,6	
Куявяк	371,9 ± 2,1	-36,6*		161,6 ± 4,9	-23,2*		533,6 ± 7,0	-35,8*		2,3 ± 0,10	4,9*	

Таксон	Каротиноиды										Хлорофиллы/ каротиноиды		
	Сумма		$\beta$ -каротин		Ксантофиллы		$\beta$ -каротин/ ксантофиллы		$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$		$t$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$t$
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$t$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$t$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$t$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$t$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$t$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$t$	
Слодыч – эталон	200,2 ± 0,5	–	40,8 ± 0,2	–	159,4 ± 0,7	–	0,3 ± 0,01	–	4,1 ± 0,01	–	–	–	–
Павлуша	182,4 ± 0,6	-22,4*	54,4 ± 0,1	48,9*	128,0 ± 0,8	-29,9*	0,4 ± 0,01	37,7*	4,3 ± 0,05	2,5	–	–	2,5
Белорусский овошной	210,9 ± 0,6	14,9*	21,6 ± 0,4	-38,1*	189,3 ± 4,1	11,5*	0,1 ± 0,01	-40,4*	4,0 ± 0,05	-1,2	–	–	-1,2
Преллада	259,2 ± 11,8	5,0*	46,1 ± 0,2	15,6*	213,1 ± 11,5	4,7*	0,2 ± 0,01	-3,5*	3,6 ± 0,18	-3,1*	–	–	-3,1*
Фея	294,4 ± 16,8	5,6*	38,0 ± 0,2	-8,1*	256,4 ± 17,0	5,7*	0,1 ± 0,01	-9,4*	4,2 ± 0,24	0,4	–	–	0,4
Прометей	211,0 ± 1,8	5,9*	67,7 ± 1,6	16,5*	143,3 ± 3,4	-4,6*	0,5 ± 0,02	9,6*	4,3 ± 0,08	1,4	–	–	1,4
Воронежский зеленый	211,9 ± 0,1	24,7*	66,6 ± 1,1	23,7*	145,3 ± 1,1	-10,8*	0,5 ± 0,01	18,2*	4,4 ± 0,06	3,6*	–	–	3,6*
Радован	259,9 ± 6,1	9,8*	57,0 ± 0,8	20,6*	202,9 ± 5,4	8,1*	0,3 ± 0,01	0,5	3,9 ± 0,12	-2,3	–	–	-2,3
Торнадо	196,9 ± 5,9	0,5	35,2 ± 0,1	-1,1	161,7 ± 5,9	0,4	0,2 ± 0,01	-4,2*	4,3 ± 0,11	1,2	–	–	1,2
Кузяк	112,6 ± 6,6	-13,2*	40,2 ± 0,5	-21,9*	72,4 ± 7,1	-12,3*	0,6 ± 0,06	5,0*	4,8 ± 0,14	3,8*	–	–	3,8*

\* Статистически значимые по  $t$ -критерию Стьюдента различия с эталонным соргом при  $p < 0,05$ .

статистически достоверными. Что касается соотношения количества  $\beta$ -каротина и ксантофиллов, то диапазон его варьирования охватывал область значений 0,1–0,6, что указывало на доминирующее положение в каротиноидном комплексе микрозелени окисленных форм данных соединений.

Сравнение исследуемых характеристик пигментного комплекса микрозелени тестируемых сортообразцов и сорта Сладыч выявило заметные различия как в содержании, так и в соотношении его основных компонентов. Для большинства исследуемых объектов было характерно более активное, чем у эталонного сорта, накопление и зеленых, и желтых пластидных пигментов (табл. 2). Это подтверждалось весьма заметным превышением относительно эталонного сорта их общего содержания соответственно на 3–49 и 5–47 % при наименьших различиях у сорта Белорусский овощной и наибольших у сорта Фея. Вместе с тем у двух сортообразцов данной культуры – Павлуша и особенно Куявяк обнаружено меньшее, чем у сорта Сладыч, содержание обеих групп пластидных пигментов, отставание по данному показателю составило в пределах 5–44 %, наибольшее во втором случае. Лишь у сорта Торнадо не выявлено достоверных различий с эталонным сортом в общем содержании фотосинтезирующих пигментов. Вместе с тем у большинства тестируемых сортообразцов не установлено достоверных различий с сортом Сладыч по соотношению количества хлорофиллов *a* и *b*, что указывало на сопоставимость у них темпов биосинтеза данных форм зеленых пигментов, и только для сорта Куявяк было показано превышение на 15 % эталонного уровня данного показателя.

Каротиноидный комплекс микрозелени тестируемых таксонов гороха был отмечен более выраженными контрастами с эталонным сортом в темпах биосинтеза его основных компонентов. При этом для одной половины сортообразцов было показано усиление по сравнению с ним позиций  $\beta$ -каротина, тогда как для другой, напротив, выраженное примерно в такой же степени их ослабление, что подтверждалось соответствующими изменениями соотношения количества  $\beta$ -каротина и ксантофиллов в пределах 33–100 %. Заметим, что наиболее высоким содержанием восстановленной формы желтых пигментов характеризовались сорта Прометей и Воронежский зеленый, тогда как окисленной – сорт Фея (табл. 2).

Тем не менее показанные выше сортовые особенности комплекса фотосинтезирующих пигментов микрозелени гороха в большинстве случаев не отразились на соотношении содержания хлорофиллов и каротиноидов. Лишь у сорта Преладо оно оказалось на 12 % достоверно ниже, чем у сорта Сладыч, что указывало на преимущественное усиление в его пигментном комплексе роли желтых пигментов, а у сортов Воронежский зеленый и Куявяк, напротив, на 7 и 17 % выше, что свидетельствовало об усилении позиций зеленых пигментов.

Таким образом, выявленные сортовые различия в составе пигментного комплекса пластид микрозелени гороха овощного свидетельствуют о существенном влиянии на его формирование генотипа опытных растений. С целью

Таблица 2 – Относительные различия сортообразцов гороха овощного с эталонным сортом Слюдяч по содержанию хлорофиллов и каротиноидов в сухом веществе микрорезлени, %

Таксон	Хлорофиллы				Каротиноиды				Хлорофиллы/ каротиноиды	Совокупный эффект*
	a	b	a + b	a/b	Сумма	$\beta$ -каротин	Ксантофиллы	$\beta$ -каротин/ ксантофиллы		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Павлуша	-4,6	-5,7	-4,9	-	-8,9	+33,3	-19,7	+33,3	-	-10,5
Белорусский овощной	+3,3	+2,1	+2,9	-	+5,3	-47,1	+18,8	-66,7	-	-14,7
Прелада	+13,4	+8,8	+11,9	-	+29,5	+13,0	+33,7	-33,3	-12,2	+110,3
Фея	+52,5	+42,6	+49,2	-	+47,1	-6,9	+60,9	-66,7	-	+245,4
Прометей	+8,0	+8,5	+8,1	-	+5,4	+65,9	-10,1	+66,7	-	+85,8
Воронежский зеленый	+11,4	+12,9	+11,9	-	+5,8	+63,2	-8,8	+66,7	+7,3	+96,4
Радован	+23,6	+16,9	+21,4	-	+29,8	+39,7	+27,3	-	-	+158,7
Торнадо	-	+2,4	-	-	-	-13,7	-	-33,3	-	-11,3
Кузяк	-32,9	-41,2	-35,6	+15,0	-43,8	-	-54,6	+100,0	+17,1	-208,1

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с эталонным сортом при  $p < 0,05$ .

\* Установлен путем сложения данных столбцов 2, 3, 4, 6, 7 и 8 с учетом их знака.

определения опытного объекта с максимальной и минимальной степенью изменений темпов биосинтеза фотосинтезирующих пигментов относительно эталонного сорта Слодыч для каждого из них были определены суммарные значения относительных размеров положительных и отрицательных различий с последним по общему количеству хлорофиллов и каротиноидов, а также по содержанию основных форм данных пигментов. Более половины тестируемых сортов гороха характеризовались на 86–245 % более высокими, чем у эталонного сорта, значениями совокупности обозначенных признаков, что свидетельствовало о большей насыщенности их пигментного фонда фотосинтезирующими пигментами. В свою очередь, это указывало на более значительные, чем у сорта Слодыч, потенциальные возможности их микрозелени к осуществлению синтетических процессов. Наибольшими значениями анализируемого суммарного показателя были отмечены сорта Фея и в меньшей степени Радован. Вместе с тем для нескольких сортов гороха – Павлуша, Торнадо и Белорусский овощной были установлены незначительные, причем примерно одинаковые (в пределах 11–15 %) отрицательные отклонения от эталонного сорта по данному признаку. При этом лидирующее положение в этом плане принадлежало сорту Куявяк, уступавшему сорту Слодыч по насыщенности пигментного комплекса пластид на 208 % (см. табл. 2).

В соответствии со снижением значений совокупного эффекта, указывающим на обеднение фонда фотосинтезирующих пигментов микрозелени сортообразцов гороха, а следовательно, и ослабление фотосинтетической функции, было проведено распределение опытных объектов следующим образом:

Фея > Радован > Преладо > Воронежский зеленый > Прометей >

Слодыч > Белорусский овощной > Торнадо = Павлуша > Куявяк.

Таким образом, в таксономическом ряду исследуемых сортов гороха овощного наиболее насыщенным фондом фотосинтезирующих пигментов характеризовались образцы микрозелени сортов Фея и в меньшей степени Радован и Преладо, тогда как наиболее обедненным – образцы микрозелени сорта Куявяк.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате сравнительного исследования генотипических особенностей фонда фотосинтезирующих пигментов микрозелени 10 сортов гороха овощного – Слодыч, Павлуша, Белорусский овощной, Преладо, Фея, Прометей, Воронежский зеленый, Радован, Торнадо и Куявяк установлено, что большинство исследуемых объектов характеризовались на 3–49 % и 5–47 % более высоким, чем у эталонного сорта, накоплением и зеленых, и желтых пластидных пигментов при наименьших различиях у сорта Белорусский овощной и наибольших у сорта Фея, тогда как у двух сортообразцов – Павлуша и особенно Куявяк обнаружено отставание от него в их накоплении на 5–44 %, наибольшее во втором случае. В таксономическом ряду тестируемых объектов наиболее насыщенным фондом фотосинтезирующих пигментов характеризовались образцы микрозелени сортов Фея и в меньшей степени

Радован и Прелато, тогда как наиболее обедненным – образцы микрозелени сорта Куявяк.

#### **Список использованных источников**

1. Боровиков, В. П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 656 с.
2. Годнев, Т. Н. Хлорофилл: его строение и образование в растении / Т. Н. Годнев. – Минск : Изд-во Акад. наук БССР, 1963. – 318 с.
3. Методы определения сухих веществ : ГОСТ 8756.2-82. – Введ. 01.01.83. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
4. Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения каротина : ГОСТ 8756.22-80. – Введ. 01.01.81 (дата последнего изменения 13.07.2017). – М. : Изд-во стандартов, 2010. – 6 с.
5. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 320 с.
6. Фотосинтез. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов / авт.-сост. Л. В. Кахнович. – Минск : Изд-во Белорус. гос. ун-та, 2003. – 88 с.

*Поступила в редакцию 22 ноября 2022 г.*

**A. M. Pashkevich, A. I. Chaykovskiy, Zh. A. Rupasova,  
V. N. Reshetnikov, V. S. Zadalya**

#### **GENOTYPIC FEATURES OF THE FORMATION OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS FUND IN THE MICROGREENS OF GARDEN PEAS**

#### **SUMMARY**

*The results of a comparative study of the genotypic features of the formation of photosynthetic pigments fund in samples of microgreens of 10 varieties of vegetable peas – Slodych, Pavlusha, Beloruskiy ovochnoy, Prelado, Feya, Prometey, Voronezhskiy zeleny, Radovan, Tornado, Kuyavyak. It was found that the most saturated stock of photosynthetic pigments was characterized by samples of microgreens of the Feya and to a lesser extent Radovan and Prelado varieties, while the most depleted were samples of microgreens of the Kuyavyak variety.*

*Key words:* garden peas; varieties; microgreens; photosynthetic pigments; chlorophylls; carotenoids.