

DOI: 10.24412/2309-348X-2024-2-120-125

УДК: 633.358:631.52

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ И АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ОБРАЗЦАХ РАЗЛИЧНЫХ ТАКСОНОВ ГОРОХА

К.А. БАШКИРОВА, младший научный сотрудник, ORCID ID: 0009-0002-3370-0604

E-mail: xeni43339@gmail.com

С.В. БОБКОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID ID: 0000-0002-8146-0791

E-mail: svbobkov@gmail.com

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

Проведено изучение содержания фотосинтетических пигментов и активности антиоксидлительной системы в прилистниках образца азиатского гороха к-1974 и сорта Саламанка (ssp. sativum) на стадии начала налива семян. Между растениями исследуемых образцов не было обнаружено существенных различий как по содержанию пигментов, так и по активности антиоксидлительных ферментов. В прилистниках образца к-1974 отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам на 0,77 единицы ($p \leq 0,001$) превышало величину указанного признака у культурного гороха. У сорта Саламанка отношение хлорофилла а к хлорофиллу b было на 0,22 единицы существенно ($p \leq 0,05$) выше, чем у образца к-1974. В прилистниках образца к-1974 в период начала налива семян зафиксирована существенная сильная положительная связь между активностью каталазы и содержанием хлорофиллов и каротиноидов. У сорта Саламанка содержание фотосинтетических пигментов находилось в положительной статистически значимой корреляционной связи как с активностью каталазы, так и с активностью пероксидазы.

Ключевые слова: внутривидовой таксон гороха, фотосинтетический пигмент, каталаза, пероксидаза, корреляция.

Для цитирования: Башкирова К.А., Бобков С.В. Содержание фотосинтетических пигментов и активность антиоксидлительной системы в образцах различных таксонов гороха. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 2(50):120-125. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-2-120-125

CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AND ACTIVITY OF ANTIOXIDATION SYSTEM IN ACCESSION FROM VARIOUS PEA TAXONS

K.A. Bashkirova, S.V. Bobkov

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS

Abstract: *Study of photosynthetic pigments content and activity of antioxidant system in stipules of asiaticum accession pea k-1974 and variety Salamanka (ssp. sativum) at the beginning of seed filling were conducted. There were no statistically significant differences between accession k-1974 and variety Salamanka on content of pigments and the activity of antioxidant enzymes were not revealed. In the stipules of accession k-1974 ratio of chlorophylls to carotenoids was 0,77 units significantly higher ($p \leq 0,001$) than in ones of cultivated pea. In variety Salamanka, ratio of chlorophyll a to chlorophyll b was 0,22 units significantly higher ($p \leq 0,05$) than in the accession k-1974. In stipules of accession k-1974 there was strong positive relationship between activity of catalase and content of chlorophylls and carotenoids at the beginning of seed filling. In Salamanka there was significant strong and moderate positive correlation between content of photosynthetic pigments and activity of catalase, and consequently, activity of peroxidase.*

Keywords: intraspecies pea taxon, photosynthetic pigment, catalase, peroxidase, correlation.

Горох – одна из основных зернобобовых культур в России. В 2023 году его посеы составили 1,9 млн га, с которых, впоследствии, было получено 4,72 млн т семян [1]. Ценность гороха посевного определяется его кормовыми, пищевыми и агротехническими качествами. Содержание белка в семенах этой культуры доходит до 28,7% [2]. Важными свойствами горохового протеина является хорошая усвояемость в организме и наличие высокого содержания таких незаменимых аминокислот, как аргинина, лизина и треонина [3].

Для формирования высоких урожаев гороха большое значение имеет активность фотосинтетических процессов [4, 5]. Известно, что фотосинтетическая система некоторых сортов гороха, выведенных в XX веке имеет ряд изменений, связанных с уменьшением фотосинтетического потенциала, увеличением активности хлоропластов и чистой продуктивности фотосинтеза [6]. В настоящее время широкое распространение в производстве получил горох безлисточкового морфотипа, устойчивый к полеганию, характеризующийся меньшим фотосинтетическим потенциалом, по сравнению с традиционным [6]. Все это вызывает опасения снижения продуктивности и качества семян у современных сортов гороха.

Восполнить снижение фотосинтетического потенциала можно усилением фотосинтетической деятельности растений за счет увеличения содержания хлорофиллов и каротиноидов в фотосинтезирующих органах. Источниками высокого количества фотосинтетических пигментов могут выступать представители внутривидовых таксонов *Pisum sativum* L. По литературным данным образец к-3370 (ssp. *elatius*) коллекции ВИР отличается высоким содержанием фотосинтетических пигментов на всех стадиях онтогенеза [7, 8]. Также вызывает интерес образец к-1974, относящийся, согласно классификации Р. Х. Макашевой (1979), к азиатскому подвиду гороха (*Pisum sativum* L. ssp. *asiaticum*), произрастающий на территории Передней, Центральной и Юго-Западной Азии. Этот образец также имеет повышенный уровень хлорофиллов и каротиноидов [9].

Цель исследования - оценка образца к-1974 (ssp. *asiaticum*) коллекции ВИР по содержанию фотосинтетических пигментов и активности антиокислительных ферментов в период начала налива семян для определения возможности его использования в селекции гороха на высокую эффективность фотосинтетического аппарата.

Материал и методы исследований

Исследование содержания хлорофиллов, каротиноидов и активности каталазы, пероксидазы проводили в прилистниках образца коллекции ВИР к-1974 (ssp. *asiaticum*).

Контролем служил сорт Саламанка (Norddeutsche Pelanzenzucht Hans-Georg Lembke KG, Германия, внесен в Госреестр РФ в 2013 г.) безлисточкового морфотипа. Его вегетационный период составляет 63-87 дней (среднеспелый сорт). Растения обладают высокой устойчивостью к осыпанию семян и полеганию, средней – к засухе, асхитозу и ржавчине. Содержание белка в растениях – в пределах от 23,4 до 26,3% [10].

Опытные растения выращивали на опытном поле ФНЦ зернобобовых и крупяных культур на делянках 1 м² с густотой посева 1,2 млн растений/га. Длительность периода от посева (26.04.2023) до момента начала отбора проб (5.07.2023) составила 70 дней (рассчитанный ГТК для этого периода равнялся 0,8). Отбор проб для анализа производился с 5 по 12 июля 2023 года в условиях сильной засухи (ГТК=0,4).

Определение содержания фотосинтетических пигментов и активности антиокислительных ферментов проводили в прилистниках сложного листа гороха. Прилистники для анализа брали с третьего продуктивного узла (счет снизу-вверх) в периоды начала налива семян, что соответствовало содержанию воды в семяпочках бобов первого продуктивного узла на уровне 80 %. Отбор проб проводили в 10 повторениях. Содержание фотосинтетических пигментов выражали в мг/г сухого вещества (СВ), активность каталазы - в мкмоль Н₂О₂/г СВ • мин, активность пероксидазы - в единицах оптической плотности /г СВ • мин.

Экстракцию и определение содержания фотосинтетических пигментов проводили в 95% этиловом спирте в соответствии с рекомендациями Н.К. Lichtenthaler (1987). Оптическую плотность экстрактов хлорофиллов и каротиноидов измеряли на

спектрофотометре ПЭ5300В (ПромЭкоЛаб, Россия). Активность каталазы определяли по методу Н. Аebi (1984) в оригинальной модификации, активность пероксидазы – по методу А.Н. Бояркина (Ермаков, 1987). Для определения активности каталазы и пероксидазы использовали спектрофотометр СФ-26 (Россия) и фотоэлектроколориметр КФК-2МП (Загорский ГОСМ, Россия) соответственно.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием t-критерия Стьюдента и корреляции Пирсона.

Результаты и их обсуждение

Исследование содержания фотосинтетических пигментов и активности антиокислительных ферментов в прилистниках образца к-1974 в начале налива семян показало, что среднее количество хлорофилла *a* (Chl *a*), хлорофилла *b* (Chl *b*), их суммы (Σ Chls), каротиноидов составило 3,11, 1,42, 4,53 и 0,75 мг/г СВ соответственно (табл. 1). У сорта Саламанка данные признаки равнялись 2,37, 0,98, 3,35 и 0,65 мг/г СВ соответственно. Активность каталазы и пероксидазы в прилистниках азиатского подвида гороха находилась на уровне 183,0 мкмоль H_2O_2 /г СВ • мин и 2,20 единиц оптической плотности/г СВ • мин соответственно, а у сорта Саламанка – 176,33 мкмоль H_2O_2 /г СВ • мин и 2,05 единиц оптической плотности/г СВ • мин. Несмотря на то, что значения всех изученных признаков в азиатском подвиде гороха были выше, чем у культурного сорта, статистически значимых различий обнаружено не было.

Таблица 1

Содержание фотосинтетических пигментов и активность антиокислительных ферментов в прилистниках дикого и культурного гороха в период начала налива семян на первом продуктивном узле

Парные сравнения	Содержание фотосинтетических пигментов и активность антиокислительных ферментов		Оценка различий между образцом к-1794 и сортом Саламанка по t-критерию Стьюдента	
	к-1974	Саламанка	Различие	p-value
Chl <i>a</i> , мг/г СВ	3,11	2,37	+0,74	0,42
Chl <i>b</i> , мг/г СВ	1,42	0,98	+0,44	0,31
Σ Chls, мг/г СВ	4,53	3,35	+1,18	0,38
Каротиноиды, мг/г СВ	0,75	0,65	+0,11	0,61
Каталаза, мкмоль H_2O_2 /г СВ • мин	183,0	176,33	+6,68	0,77
Пероксидаза, единиц оптической плотности/г СВ • мин	2,20	2,05	+0,15	0,60

В прилистниках образца к-1974 достоверно ($p=0,02$) отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* было ниже на 0,21 единицы, по сравнению с сортом Саламанка (табл. 2). Это явление может быть обусловлено различиями в строении фотосинтетического аппарата внутривидовых таксонов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) [7].

Таблица 2

Соотношение фотосинтетических пигментов в прилистниках образца к-1974 и сорта Саламанка в период начала налива семян на первом продуктивном узле

Парные сравнения	Соотношение фотосинтетических пигментов		Разница между показателями отношений фотосинтетических пигментов у образца к-1974 и сорта Саламанка
	к-1974	Саламанка	
Chl <i>a</i> / Chl <i>b</i>	2,22	2,41	-0,21*
Σ Chls / Каротиноиды	5,90	5,13	+0,77***

Примечание: *, *** – статистические различия при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,001$ (t-критерий Стьюдента)

Немаловажной характеристикой работы фотосинтетического аппарата является соотношение суммы хлорофиллов и каротиноидов, которое свидетельствует о физиологическом состоянии растения. В прилистниках образца к-1974 отношение суммы хлорофиллов и каротиноидов равнялось 5,90, что значительно ($p=0,0008$) превышало таковой показатель у культурного сорта (5,13 единиц) (табл. 2).

Дополнительно на стадии начала налива семян было проведено исследование корреляционной зависимости между содержанием фотосинтетических пигментов и активностью антиокислительных ферментов. У азиатского гороха количество хлорофиллов и каротиноидов достоверно ($p \leq 0,01$) положительно коррелировало с активностью каталазы (Chl *a*: $r=0,918^{**}$; Chl *b*: $r=0,927^{**}$; \sum Chls: $r=0,921^{**}$; каротиноиды: $r=0,912^{**}$) (табл. 3). Сила связи оценивалась как высокая.

Таблица 3

Взаимосвязь между содержанием фотосинтетических пигментов и активностью антиокислительных ферментов у образца к-1974 и сорта Саламанка на стадии начала налива семян

Парные сравнения	Коэффициент корреляции Пирсона, <i>r</i>	
	к-1974	Саламанка
<i>Фотосинтетические пигменты и каталаза</i>		
Chl <i>a</i>	0,918**	0,796**
Chl <i>b</i>	0,927**	0,706**
\sum Chls	0,921**	0,775**
Каротиноиды	0,912**	0,854**
<i>Фотосинтетические пигменты и пероксидаза</i>		
Chl <i>a</i>	0,448	0,574*
Chl <i>b</i>	0,488	0,638**
\sum Chls	0,461	0,597**
Каротиноиды	0,439	0,511*

Примечание: *, ** – статистические различия при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$ (*r*-корреляция Пирсона)

Уровень фотосинтетических пигментов также положительно со средней силой был связан с активностью пероксидазы, однако статистически данные не подтверждались. Следует обратить внимание, что ранее в фотосинтезирующих органах у некоторых представителей внутривидовых таксонов гороха была выявлена незначительная отрицательная связь между содержанием фотосинтетических пигментов и активностью пероксидазы и статистически значимая положительная корреляция ($p \leq 0,05$) с активностью каталазы [11].

Количество хлорофиллов и каротиноидов в прилистниках сорта Саламанка также было связано с активностью каталазы (Chl *a*: $r=0,796^{**}$; Chl *b*: $r=0,706^{**}$; \sum Chls: $r=0,775^{**}$; каротиноиды: $r=0,854^{**}$). Однако содержание фотосинтетических пигментов коррелировало и с активностью пероксидазы (Chl *a*: $r=0,574^*$; Chl *b*: $r=0,638^{**}$; \sum Chls: $r=0,597^{**}$; каротиноиды: $r=0,511^*$). Корреляционная связь характеризовалась как положительная умеренная и положительная сильная.

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что у азиатского гороха основным ферментом антиокислительной системы, нейтрализующим действие активных форм кислорода, образующихся в результате повышения содержания фотосинтетических пигментов, является каталаза, в то время как для культурного гороха, наряду с каталазой, действует и пероксидаза.

Заключение

Проведено исследование количества фотосинтетических пигментов и активности антиокислительных ферментов в прилистниках образца к-1974 (*ssp. asiaticum*) коллекции ВИР и сорта Саламанка (*ssp. sativum*) в период начала налива семян. У азиатского гороха

содержание Chl *a* составило 3,12 мг/г СВ, Chl *b* – 1,42 мг/г СВ, каротиноидов – 0,75 мг/г СВ, а у посевного – 2,37, 0,98 и 0,65 мг/г СВ соответственно. Активность каталазы в прилистниках образца к-1974 равнялась 183 мкмоль H₂O₂/г СВ • мин и превышала на 6,68 мкмоль H₂O₂/г СВ • мин аналогичную величину у сорта Саламанка. У азиатского и культурного гороха существенные различия были обнаружены в отношениях Chl *a* / Chl *b* и суммы хлорофиллов к каротиноидам. У образца к-1974 корреляционный анализ выявил статистически значимую положительную зависимость между содержанием фотосинтетических пигментов и активностью каталазы. Напротив, у сорта Саламанка содержание хлорофиллов и каротиноидов положительно коррелировало как с активностью каталазы, так и пероксидазы.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЗБК по разделу FGZ-2022-003 «Физиолого-биохимическое изучение генетических ресурсов зерновых и крупяных культур для использования в селекционном процессе».

Авторы выражают искреннюю благодарность Е.В. Семёновой ФИЦ ВИГРР имени Н.И. Вавилова за предоставленный образец гороха к-1974 из коллекции ВИР.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики // URL: <http://rosstat.gov.ru/> (Дата обращения: 15.04.2024).
2. Браилова И.С., Филатова И.А., Юрьева Н.И., Белоусова Ю.В. Оценка перспективных сортообразцов гороха по качеству и взаимосвязь биохимических показателей с урожайностью и массой 1000 зерен // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2020. – № 3 (35). – С. 20-25. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11180>
3. Бобков С. В., Сучкова Т.Н. Аминокислотный состав запасных белков у диких подвидов гороха *Pisum sativum* L. // *Вестник аграрной науки*. – 2012. – № 3. – С. 30-32.
4. Аликина О.В., Беседин А.Г., Путина О.В. Вишнякова М.А. Сравнительная оценка сортов овощного гороха двух морфотипов по комплексу признаков в условиях Краснодарского края // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. – 2016. – Т. 177. – № 1. – С. 35-51. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-1-35-51>
5. Чиков В.И. Эволюция представлений о связи фотосинтеза с продуктивностью растений // *Физиология растений*. – 2008. – Т. 55. – № 1. – С. 140-154.
6. Амелин А.В. Морфофизиологические основы повышения эффективности селекции гороха // Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора с.-х. наук. Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева. – Москва, – 2001. – 47 с.
7. Бобков С.В., Бычков И.А. Содержание фотосинтетических пигментов в онтогенезе дикого и культурного гороха // *Вестник Казанского ГАУ*. – 2020. – № 4 (60). – С. 10-14. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-10-14>
8. Бобков С.В., Башкирова К.А. Содержание фотосинтетических пигментов в различных органах растений дикого и культурного гороха // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2021. – № 4 (40). – С. 15–23. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-4-15-23>
9. Башкирова К.А., Бобков С.В. Исходный материал для селекции гороха с высоким содержанием фотосинтетических пигментов // *Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых АПК, Ростовская область, п. Рассвет – 2023*. – С. 138-142. <https://doi.org/10.34924/FRARC.2023.60.24.030>
10. Сорт Саламанка // URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/salamanka-gorokh-posevnoy/> (Дата обращения: 19.03.2024).
11. Бобков С.В., Бычков И.А. Содержание фотосинтетических пигментов и активность ферментов окислительного стресса у диких образцов гороха // *Земледелие*. – 2018. – № 4. – С. 29-33. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10409>

References

1. Federal State Statistics Service // URL: <http://rosstat.gov.ru/> (Accessed: 15.04.2024) (in Russian)
2. Brailova I.S., Filatova I.A., Yur'eva N.I., Belousova YU.V. Evaluation of perspective pea varieties by quality and relationship of biochemical indicators with yield and weight of 1000 grains. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2020, no. 3 (35), pp. 20-25. [https://doi.org/ 10.24411/2309-348X-2020-11180](https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11180) (in Russian)
3. Bobkov S.V., Suchkova T.N. Amino acid composition of storage proteins in wild subspecies of pea *Pisum sativum* L. *Vestnik agrarnoi nauki*, 2012, no. 3, pp. 30-32. (in Russian)
4. Alikina O.V., Besedin A.G., Putina O.V. Vishnyakova M.A. Comparative evaluation of garden pea varieties of two morphotypes according to a set of traits in Krasnodar region. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*, 2016, v. 177, no. 1, pp. 35-51. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-1-35-51> (in Russian)
5. Chikov V.I. Evolution of notions about relationship between photosynthesis and plant productivity. *Fiziologiya rastenij*, 2008, 55, no. 1, pp. 130-143. (in Russian)
6. Amelin A.V. Morphophysiological basis for increasing the efficiency of pea breeding. *Doct. Diss. (Agric.)*, Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, 2001, 47 p. (in Russian)
7. Bobkov S.V., Bychkov I.A. Content of photosynthetic pigments in ontogenesis of wild and cultural pea. *Vestnik Kazanskogo GAU*, 2020, no. 4 (60), pp. 10-14. DOI: 10.12737/2073-0462-2021-10-14 (in Russian)
8. Bobkov S.V., Bashkirova K.A. Content of photosynthetic pigments in various organs of wild and cultural pea. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2021, no. 4 (40), pp. 15–23. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-4-15-23> (in Russian)
9. Bashkirova K.A., Bobkov S.V. Source material for pea breeding with a high content of photosynthetic pigments. *Materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh APK «Aktual'nye voprosy razvitiya otraslei sel'skogo khozyaistva: teoriya i praktika»*, Rostovskaia oblast, p. Rassvet, 2023, pp. 138-142. <https://doi.org/10.34924/FRARC.2023.60.24.030> (in Russian)
10. Sort Salamanka. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-seleksionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/salamanka-gorokh-posevnoy/> (Accessed: 19.03.2024) (in Russian)
11. Bobkov S.V., Bychkov I.A. Content of photosynthetic pigments and activity of oxidative stress enzymes in wild pea. *Zemledelie*, 2018, no. 4, pp. 29-33. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10409> (in Russian)