

DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11117

УДК635.655.581.1

ЭКОЛОГО - ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ СОРТОВ СОИ СЕВЕРНОГО ЭКОТИПА

Е.В. ГОЛОВИНА, доктор сельскохозяйственных наук
ФГБНУ «ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР»

В 2016-2018 годах, контрастных по погодным условиям на 7 сортах и 2 линиях сои селекции ФНЦ ЗБК исследовано влияние метеорологических условий на содержание и соотношение фотосинтетических пигментов в листьях в связи с устойчивостью к условиям Центрально-Черноземного региона РФ. В среднем за 3 года максимальное содержание Хл а наблюдалось у сортов Мезенка, Свапа, Шатиловская 17 (7,16-7,39 мг/г сухого вещества); Хл b – у Зуши, Мезенки, Свапы (4,63-4,65 мг/г сухого вещества); каротиноидов – у Шатиловской 17, Свапы, Красивой Мечи (1,77-2,24 мг/г сухого вещества). По сумме хлорофиллов выделились Мезенка и Свапа (11,76-11,79 мг/г сухого вещества). Выявлены приспособительные реакции пигментного аппарата сортов сои. В неблагоприятных условиях недостаточной инсоляции избыточно влажного и холодного 2017 г. возросло количество Хл а и каротиноидов, а в наиболее теплом 2018 г. при избытке солнечного света увеличивалось содержание Хл b. Между содержанием различных форм хлорофилла существует тесная корреляция на уровне $r=0,7-0,9$. Изменение уровня накопления хлорофиллов и каротиноидов под воздействием метеорологических факторов можно рассматривать как адаптивные реакции, направленные на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата в условиях ЦЧР РФ.

Ключевые слова: сорта сои северного экотипа, погодные условия, адаптивность, хлорофиллы, каротиноиды.

Эффективное производство сои при продвижении ее в Центральные регионы России обусловлено в первую очередь экологической пластичностью и стабильностью культуры [1]. В европейской части России благодаря созданию сортов северного экотипа возможно возделывание сои с урожайностью в 1,5-2,0 раза выше, чем в традиционном Дальневосточном регионе [2]. Однако отбор новых форм и сортов осуществляется чаще всего по морфологическим и хозяйственно ценным признакам, что приводит к дисбалансу между генетически заданным числом бобов и ограниченными возможностями фотосинтезирующих органов поставлять ассимиляты к аттрагирующим центрам. Проблема управления эффективностью фотосинтеза чрезвычайно сложна. Для ее решения требуются, в том числе знания о влиянии абиотических факторов на структуру и функции пигментного комплекса.

Хлорофиллы – это основные фотосинтетические пигменты. Хлорофилл *a* (Хл *a*) – универсальный пигмент, осуществляющий преобразование энергии света в энергию разделения зарядов, т. е. первый этап превращения энергии в ходе оксигенного фотосинтеза. Хлорофилл *b* (Хл *b*) – специальный хлорофилл светособирающих антенных комплексов, способствующий увеличению светосбора на низком свете и диссипации избытка поглощенной энергии на высоком свете [3]. Каротиноиды, выполняют светособирающую и светозащитную функции, отводя избыточную энергию возбуждения [4]. Количество хлорофилла – фактор, определяющий интенсивность фотосинтеза и биологическую продуктивность растений [5]. Во время первичной, световой стадии фотосинтеза поглощенная хлорофиллом солнечная энергия трансформируется в энергию химических связей. В хлоропластах образуются НАДФН и АТФ, необходимые для реакций, обеспечивающих продукционный процесс. Первичные процессы запасаания энергии света связаны с метаболизмом растительной клетки и могут принимать участие в адаптации растений не только к условиям освещения, но и к другим факторам среды [6]. В качестве

показателей общей устойчивости у растений используют количество и соотношение пигментов в листьях. Способность фотосинтетического аппарата, и в частности его пигментного комплекса, приспосабливаться к изменяющимся внешним условиям является важнейшей характеристикой устойчивости и адаптации растений [7, 8].

Цель исследований: изучить изменчивость количества и соотношения пигментов в листьях новых сортов сои северного экотипа в связи с адаптивностью к климату ЦЧР.

Материалы и методы исследований

Исследованы 7 сортов и 2 линии. Площадь делянки 7,5 м², повторность 4-кратная. Норма высева семян сои 600 тыс. всхожих семян/га. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях определяли в фазу налива бобов по Зеленскому и Могилевой (1980). Для анализа в утреннее время отбирали второй сверху из полностью развернувшихся листьев.

Годы исследований различались по погодным условиям (табл. 1) 2016 год теплый, влажный, с суммой осадков 450,5 мм, превышающей количество осадков в мае – сентябре за 11-летний период (2005-2015 гг.), ГТК = 2,3.

Анатомо-морфологические признаки засухоустойчивости. Морфологические и физиологические приспособления листьев к стрессу засухи позволяют уменьшить потерю воды и повысить эффективность ее использования. Исследователями отмечена тенденция уменьшения листовой поверхности посевов сои для уменьшения транспирации во время дефицита влаги [15]. Более узкие листья сои являются показателями ксероморфности растения. Проведено морфологическое изучение коллекционных образцов сои по форме листа.

Таблица 1

Агрометеорологические условия, г. Орел

Показатели	Месяцы					Σt ≥ 10 °C	ГТК= Σосадков × 10 Σэффект. tt
	май	июнь	июль	август	сентябрь		
Средняя температура воздуха за месяц, °C							
Средняя многолетняя	13,8	16,8	18,0	17,0	11,7		
2016 г.	14,2	18,1	20,9	19,9	11,9	1933,0	2,33
2017 г.	12,6	15,8	18,1	19,9	13,7	1929,1	1,90
2018 г.	17,0	18,0	20,4	19,8	16,0	2121,3	1,04
Количество осадков за месяц, мм							
Среднее многолетнее	51,0	73,0	81,0	63,0	67,0	Σосадков, мм	
2016 г.	63,2	68,4	127,6	105,9	20,7	450,5	
2017 г.	54,0	59,8	142,2	87,2	16,0	366,0	
2018 г.	31,9	16,1	109,0	16,5	41,5	239,9	

В 2017 году отмечены температура ниже среднемноголетней на 2-3° С и повышенное увлажнение в период всходы-бутонизация, когда количество осадков превышало среднемноголетние на 60%, ГТК = 1,9, т.е. 2017 г. избыточно влажный, прохладный. Погодные условия 2018 г. характеризовались отклонениями от нормы значений температуры и влажности в течение вегетации.

В период всходы-ветвление в 2018 г. сложились прохладные (температура ниже среднемноголетней на 2°С), засушливые условия (осадков 2,5% нормы). Во время цветения температура была выше нормы на 2-3°С, осадков 30% нормы. Фазы начало плодообразования и налив бобов протекали в благоприятных условиях для сои: температура выше нормы на 3-4°С, влагообеспеченность высокая. 2018 г. в целом теплый, слабо засушливый: сумма эффективных температур за вегетационный период превышает среднемноголетнюю на 352°С, ГТК = 1,0.

Экспериментальные данные обработаны с помощью Microsoft Excel 2007 с учетом методических рекомендаций Б.А. Доспехова (1985).

Результаты исследований

В фазу цветения содержание Хл *a* в неблагоприятных условиях избыточной влажности и пониженной температуры 2017 года в среднем по сортам наиболее высокое за 3 года исследований 7,50 мг/г сухого вещества (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения, средние квадратические отклонения, коэффициенты вариации изменчивости содержания и соотношения пигментов в листьях сои в зависимости от погодных условий, цветение

Год	Содержание пигментов, мг/г сухого вещества				Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> +Хл <i>b</i> / каротиноиды
	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>	каротиноиды		
2016	5,93±0,654	4,16±0,571	10,09±1,161	1,78±0,284	1,43±0,120	5,67±1,218
2017	7,50±0,766	4,00±0,872	11,50±1,153	2,60±0,566	1,88±0,557	4,42±1,690
2018	6,70±0,587	3,80±0,321	10,50±0,541	2,10±0,299	1,76±0,305	5,00±0,666
CV, %						
2016	11,0	14,0	12,0	16,0	8,0	21,0
2017	10,0	22,0	10,0	22,0	27,0	35,0
2018	9,0	9,0	5,0	14,0	16,0	13,0

За счет увеличения количества Хл *a* растения более эффективно используют свет в пасмурную погоду. В теплые 2016 и 2018 годы концентрация Хл *a* была на уровне 5,93-6,70 мг/г сухого вещества. В 2017 году в налив бобов, когда основные физиологические процессы направлены на формирование плодов, стрессоустойчивость растений несколько снижалась и концентрация Хл *a* уменьшалась до 5,80 мг/г сухого вещества. В благоприятных условиях 2016 и 2018 годов физиологическая активность у растений сои не только не снижалась, но и возрастала, о чем свидетельствует увеличение количества Хл *a* на 15-18% в налив бобов по сравнению с фазой цветения (табл. 3). В наиболее теплом и засушливом 2018 году при высокой солнечной инсоляции в налив бобов концентрация Хл *b* увеличивалась на 45%. Этот пигмент обладает защитной функцией и оказывает экранирующее действие на фотосинтетически активный хлорофилл *a* [9]. Отношение Хл *a* / Хл *b* в среднем по сортам максимальное во влажных 2017 и 2018 гг.: 1,9-2,1 в фазу цветения.

Таблица 3

Средние значения, средние квадратические отклонения, коэффициенты вариации изменчивости содержания и соотношения пигментов в листьях сои в зависимости от погодных условий, налив бобов

Год	Содержание пигментов, мг/г сухого вещества				Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> +Хл <i>b</i> / каротиноиды
	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>	каротиноиды		
2016	6,83±1,153	4,09±1,155	10,92±2,110	1,93±0,421	1,67±0,322	5,66±1,395
2017	5,79±0,687	3,34±0,659	9,13±1,267	1,65±0,287	1,73±0,219	5,53±1,459
2018	7,87±0,634	5,53±0,969	13,40±1,475	1,50±0,194	1,42±0,190	8,93±1,585
CV, %						
2016	17,0	28,0	19,0	22,0	19,0	24,0
2017	12,0	20,0	14,0	17,0	20,0	25,0
2018	8,0	18,0	11,0	13,0	13,0	17,0

Каротиноиды, входящие в антиоксидантную систему и противостоящие окислительному стрессу, в большей степени накапливались в неблагоприятном для растений сои 2017 году. В фазу цветения их количество составляет 2,60 мг/г сухого вещества, что выше на 46% и на 24%, чем в 2016 г. и 2018 г. соответственно. Отношение Хл *a*+Хл *b* / каротиноиды в фазу цветения колебалось от 4,8 в 2017 г. до 5,8 в 2016 г. в среднем по сортам. Так как адаптивные возможности растений в период формирования плодов снижаются, в налив бобов содержание каротиноидов в 2017 г. сократилось до 1,65 мг/г сухого вещества.

Каротиноиды являются не только фотопротекторами, но и светосборщиками [10]. Как компоненты антенного комплекса, они способствуют более эффективному использованию солнечного света при пониженной инсоляции. Поэтому повышение уровня желтых пигментов в листьях сои в прохладных, избыточно влажных условиях можно рассматривать как приспособительную реакцию сортов сои северного экотипа.

Коэффициент вариации является относительным показателем изменчивости. Наиболее низкая изменчивость всех признаков и особенно Хл *a* (8-9%) в течение вегетации отмечена в 2018 г. (табл. 2-3). Хл *b* и каротиноиды отличались значительной изменчивостью в 2016 г. в налив бобов 28% и 22% соответственно и в 2017 г. в фазу цветения 22% по тому и другому признакам. По всем пигментам самый низкий коэффициент вариации в наиболее теплом и засушливом 2018 году.

За годы исследований выявлены достоверные различия по количеству пигментов в листьях сои (табл. 4).

Таблица 4

Содержание пигментов (мг/г сухого вещества) и их соотношение в листьях сортов сои, налив бобов

Сорт	Хл <i>a</i>			Хл <i>b</i>			Хл <i>a+b</i>		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Зуша	8,4	5,9	6,6	6,8	3,3	3,8	15,2	9,2	10,4
Кр. Меча	6,1	5,4	7,2	3,5	2,9	4,8	9,6	8,3	12,0
Ланцетная	4,5	6,4	8,0	3,6	3,9	5,1	8,1	10,3	13,1
Мезенка	6,5	7,1	7,9	3,3	4,8	5,8	9,8	11,9	13,7
Осмонь	7,5	4,9	8,1	5,0	3,3	5,4	12,5	8,2	13,5
Свапа	7,1	6,1	8,3	3,6	2,9	7,4	10,7	9,0	15,7
Шатилов.17	8,3	5,2	8,7	4,6	2,6	5,7	12,9	7,8	14,4
Л-216/07	6,0	5,4	7,7	3,0	3,5	6,1	9,0	8,9	13,8
Л-85/09	7,2	5,7	8,3	3,3	3,0	5,6	10,5	8,7	13,9
НСР ₀₅	1,014	1,341	0,984	1,524	1,182	1,276	2,820	2,218	1,886
НСР ₀₅ по фактору А (сорт)	0,374			0,410			0,672		
НСР ₀₅ по фактору В (год)	0,793			0,871			1,425		
	каротиноиды			Хл <i>a</i> / Хл <i>b</i>			Хл <i>a+ b</i> / карот.		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Зуша	1,8	1,7	1,4	1,2	1,7	1,8	8,4	5,4	7,4
Кр. Меча	2,0	1,5	1,8	1,7	1,9	1,5	4,8	5,5	6,7
Ланцетная	1,2	1,4	1,3	1,3	1,6	1,6	6,8	7,4	10,1
Мезенка	2,1	1,4	1,4	9,8	1,5	1,4	4,7	8,5	9,8
Осмонь	1,9	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	6,6	5,1	9,0
Свапа	2,1	1,9	1,4	2,0	2,1	1,1	5,1	4,7	11,2
Шатилов.17	2,7	2,2	1,8	1,5	2,0	1,5	4,8	3,5	8,0
Л-216/07	1,9	1,7	1,3	2,0	1,5	1,3	4,7	5,2	10,6
Л-85/09	1,7	1,3	1,6	2,2	1,9	1,5	6,2	6,7	8,7
НСР ₀₅	0,842	0,703	0,408	0,558	0,401	0,308	2,840	2,542	3,022
НСР ₀₅ по фактору А (сорт)	0,183								
НСР ₀₅ по фактору В (год)	0,388								

В среднем за 3 года максимальное содержание Хл *a* наблюдалось у сортов Мезенка, Свапа, Шатиловская 17 (7,16-7,39 мг/г сухого вещества); Хл *b* – у Зуши, Мезенки, Свапы (4,63-4,65 мг/г сухого вещества); каротиноидов – у Шатиловской 17, Свапы, Красивой Мечи (1,77-2,24 мг/г сухого вещества). По сумме хлорофиллов выделились Мезенка и Свапа (11,76-11,79 мг/г сухого вещества). Между содержанием Хл *a* и Хл *b* установлена тесная

корреляция на уровне $r=0,671-0,772$ во все годы исследований. В 2016 г. отмечена положительная взаимосвязь между Хл *a* и каротиноидами ($r=0,632$).

Заключение

На содержание и соотношение пигментов в листьях сои существенное влияние оказывают экологические факторы, прежде всего, погодные условия года, под воздействием которых пигментная система растений сои проявляет адаптивные свойства: в неблагоприятных условиях недостаточной инсоляции избыточно влажного и холодного 2017 г. возрастает количество Хл *a* и каротиноидов (цветение), а в наиболее теплом 2018 г. при избытке солнечного света увеличивается содержание Хл *b* (налив бобов). По содержанию хлорофиллов выделились сорта Мезенка и Свапа; каротиноидов – Шатиловская 17.

Между содержанием различных форм хлорофилла существует тесная корреляция на уровне $r=0,7-0,9$. Изменение уровня накопления хлорофиллов и каротиноидов под воздействием метеорологических факторов можно рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата.

Таким образом, пигментный комплекс играет существенную роль в формировании устойчивости сортов сои северного экотипа к погодным условиям Центрально-Черноземного региона РФ.

Литература

1. Агаркова С.Н., Новикова Н.Е., Беляева Р.В., Головина Е.В., Беляева Ж.А., Цуканова З.Р., Митькина Н.И. Особенности формирования продуктивности и адаптивных реакций у сортов зернобобовых культур с рецессивными аллелями генов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, – 2016. – Т. 177. – В. 2. – С. 22-39.
2. Инновационные технологии возделывания масличных культур. – Краснодар: Просвещение-Юг, – 2017. – 256 с.
3. Тютюрева Е.В., Иванова А.Н., Войцеховская О.В. Фотосинтез без хлорофилла *b*: уникальная организация фотосинтетического аппарата мутанта ячменя *chlorina 3613* // Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию основания Ботанического института им. В.Л. Комарова): Труды международной научной конференции., СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», – 2014. – С. 190-203.
4. Demmig-Adams B., Gilmore A.M., Adams W.W., III. In vivo function of carotenoids in higher plants // FASEB J. – 1996. V. 10. – P. 403-412.
5. Лаханов А.П., Коломейченко В.В., Фесенко Н.В. и др. Морфофизиология и продукционный процесс гречихи - Орел, 2004. – 433 с.
6. Рубин А.Б., Венедиктов П.С., Кренделева Т.Е. Регуляция первичных стадий фотосинтеза при изменениях физиологического состояния растений // Фотосинтез и продукционный процесс. – М.: «Наука», – 1988. – С. 29-39.
7. Головки Т.К., Далькэ И.В., Дымова О.В., Захожий И.Г., Табаленкова Г.Н. Пигментный комплекс растений природной флоры европейского Северо-Востока // Известия Коми научного центра УрО РАН. – Сыктывкар, – 2010. – № 1. – С. 39-46.
8. Головина Е.В. Научно-теоретическое обоснование возделывания сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ: автореф. дис. ... доктора с.-х. наук. – Пенза, – 2016. – 41 с.
9. Куренкова С.В. Пигментная система культурных растений в условиях подзоны средней тайги европейского Северо-Востока / Екатеринбург, – 1998. – 114 с.
10. Cuttriss A., Pogson B. Carotenoids // Plant Pigments and Their Manipulation / Davies, K.M., Ed., Boca Raton: CRC, – 2004. – P. 57-91.

ECOLOGICAL AND GENETIC VARIABILITY OF PIGMENT CONTENT IN THE LEAVES OF SOYBEAN VARIETIES OF THE NORTHERN ECOTYPE

E.V. Golovina

FSBSI «FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS»

Abstract: In 2016-2018 years with contrasting weather conditions on 7 varieties and 2 lines of soya developed by VNIIZBK the influence of meteorological conditions on the content and ratio of photosynthetic pigments in the leaves was studied in connection with resistance to the conditions of the Central Black Earth region of the Russian Federation. At the average for 3 years maximal content of chlorophyll *a* was observed for varieties Mezenka, Svapa, Shatilovskaya 17 (7,16-7,39 mg/g of dry substance); chlorophyll *b* – for Zusha, Mezenka, Svapa (4,63-4,65 mg/g of dry substance); carotenoids –for Shatilovskaya 17, Svapa, Krasivaya Mecha (1,77-2,24 mg/g of dry

substance). By the amount of chlorophylls stood out Mezenka and Svapa (11,76-11,79 mg/g of dry substance). Identified adaptive reactions of the pigment apparatus of soybean varieties. In adverse conditions of insufficient insolation of excessively wet and cold in 2017 increased the number of chlorophyll a and carotenoids, and in the warmest 2018 year with excess sunlight, the content of chlorophyll b increased. There is a close correlation between the content of various forms of chlorophyll at the level $r=0,7-0,9$. Changes in the level of accumulation of chlorophylls and carotenoids under the influence of meteorological factors can be considered as adaptive reactions aimed at increasing the stability of the photosynthetic apparatus in the conditions of the Central Chernozem Region of the Russian Federation.

Keywords: soybean varieties of the northern ecotype, weather conditions, adaptability, chlorophylls, carotenoids.

DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11118

УДК 633.367/577.1

БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕМЯН ЛЮПИНА (*LUPINUS L.*) ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР

Г.П. ЕГОРОВА, Т.В. ШЕЛЕНГА, кандидат биологических наук

Г.И. ПРОСКУРЯКОВА

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ
ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА»

В статье представлены результаты изучения биохимического состава семян образцов 4 видов *Lupinus L.* из коллекции ВИР. Показано, что содержание белка в семенах варьировало от 33,9 до 49,7%. Наибольшим содержанием белка отличались образцы *L. ornatus Dougl.* (в среднем 46,1%). Содержание масла в семенах исследованных образцов составило 4,6 – 11,9%. Наиболее высокое содержание масла (8,6-11,8%) отмечено у *L. rubescens Benth.* В масле семян исследованных видов люпина основными жирными кислотами являются линолевая (31-65,2%), олеиновая (14,6-48,1%), пальмитиновая (8,3-19,7%) и линоленовая (1,5-13,1%). Во всех образцах наблюдалось высокое содержание ненасыщенных жирных кислот (НЖК) – от 88 до 91% от общего содержания жирных кислот. Образцы *L. lupinus* отличались самым высоким среди изученных видов содержанием олеиновой (32,3%), линоленовой (9,5%), и самым низким – пальмитиновой (12,6%) кислот. Проведен корреляционный анализ, в результате которого выявлена отрицательная корреляция между содержанием олеиновой и линолевой кислоты ($r=-0,93$). В результате однофакторного дисперсионного анализа установлено, что наибольшее влияние на содержание белка, масла и его жирно-кислотный состав оказывает генотип (69-81%), несколько меньшее – вид и происхождение (41-51% и 9-48% соответственно) образцов. Место и год репродукции не оказывали достоверного влияния на изученные признаки. На содержание пальмитиновой кислоты у изученных образцов достоверно оказывал влияние только вид (9%). Выделены образцы с высоким содержанием масла и белка.

Ключевые слова: люпин, коллекция, содержание белка, жирные кислоты, селекция.

Люпин – важная сельскохозяйственная культура многоцелевого использования. Доместикация люпина началась более 4 тысяч лет назад. В Древнем Египте, Риме, Перу его выращивали как пищевое, кормовое растение, использовали в качестве лекарственного средства и удобрения, повышающее плодородие почвы [1].

В настоящее время люпин является не только кормовой сельскохозяйственной культурой, но и возможным источником получения низко- и высокомолекулярных соединений для химических целей [2]. Все большее значение он занимает как пищевая культура. Продукты питания, имеющие в своем составе волокна люпина, предотвращают