

Лисицын Евгений Михайлович

д-р биол. наук, заведующий отделом

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр

Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого»

ФГБОУ ВО «Вятская государственная

сельскохозяйственная академия»

г. Киров, Кировская область

DOI 10.31483/r-33138

ГЕНОТИПИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОВСА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА ЛИСТЬЕВ

Аннотация: в ходе полевых исследований 2015–2017 гг. оценивали реакцию пигментного комплекса флаговых листьев 17 генотипов овса (*Avena sativa L.*) на алюмокислый почвенный фон. Показаны генотипические различия по степени устойчивости хлорофиллов и каротиноидов к действию стрессора, а также распределению пигментов между структурными частями фотосистем. Голозерные образцы овса имеют меньшую вариабельность содержания пигментов как по годам исследований, так и по влиянию почвенного фона, чем пленчатые формы. Предложено использовать голозерные образцы овса в качестве материнских форм при селекции на устойчивость к абиотическим факторам среды.

Ключевые слова: голозерный овес, пленчатый овес, хлорофиллы, каротиноиды, фотосистемы, светособирающие комплексы, реакционные центры, абиотический стресс.

Первым этапом разработки модели сорта является генетический и физиолого-экологический анализа исходного материала сельскохозяйственных культур с учетом целевых почвенно-климатических условий выращивания. Чаще всего в моделях сортов учитываются простые, легко оцениваемые показатели, такие как структурные элементы продуктивности [1; 5]. Поскольку в адаптации растений к стрессовым абиотическим воздействиям ключевую роль играет

устойчивость их фотосинтетического аппарата [2], одним из важнейших направлений исследований должен стать структурно-функциональный анализ пигментного комплекса листьев [4]. Анализ содержания хлорофиллов и каротиноидов в растениях позволяет получить информацию о том, за счет каких конкретно пигментов происходит рост продуктивности, формируется высокий уровень урожайности и качества получаемого зерна [6; 7], осуществлять подбор родительских пар для скрещивания.

Материалы и методы. В серии полевых опытов 2015–2017 гг. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Фаленской селекционной станции выращивали 10 пленчатых и 7 голозерных селекционных образцов овса (*Avena sativa L.*), созданных в ФАНЦ Северо-Востока. Растения выращивали в соответствии с [3]. Для анализа пигментного состава с 25 индивидуальных растений четырех повторностей каждого образца отбирали флаговые листья в фазу начала цветения. Оценку содержания пигментов (хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды) осуществляли на спектрофотометре UVmini-1240 (Shimadzu Corporation, Japan). Выделение пигментов и расчет их содержания проводили по методике [8] в ацетоновых вытяжках (100% ацетон). Полученные данные обрабатывали статистически с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007 и StatSoft Statistica, v. 10.

Результаты и обсуждение. Среднее содержание хлорофилла *a* во флаговых листьях голозерных и пленчатых образцов овса значимо отличалось только в условиях 2016 г., когда голозерные формы накапливали в фазу цветения на 9% больше этого пигмента. В остальные два года различия между разными формами овса были незначимы. В среднем за годы исследования пленчатые формы содержали $12,54 \pm 0,35$ мг хлорофилла *a* в грамме сухого вещества листьев, а голозерные формы – $13,10 \pm 0,32$ мг. Вариабельность по годам исследований была выше у сортов пленчатого овса: средний коэффициент вариации составил 12,1%, для голозерных образцов – 9,6%.

Пленчатые образцы 378h08, И-4584 и голозерный образец 683h05 показали стабильное по годам содержание пигмента (вариабельность менее 5%). Сильнее

всего на изменение условий выращивания реагировали пленчатые образцы 168h10 (17,3%), И-4595 (18,3%) и И-4618 (27,6%).

Голозерные образцы содержали статистически большее количество пигмента в составе светособирающих комплексов (ССК) антенн, а пленчатые формы – в реакционных центрах (РЦ) фотосистем: в ССК – $9,53 \pm 0,30$ и $8,44 \pm 0,30$ мг/г, в РЦ – $3,57 \pm 0,07$ и $4,11 \pm 0,10$ мг/г соответственно.

Вероятно, большая доля хлорофилла *a* в РЦ фотосистем привела к тому, что средняя масса зерна с метелки пленчатых образцов овса на 28,5% превышала показатель для голозерных образцов ($1,76 \pm 0,02$ и $1,37 \pm 0,02$ г соответственно). Различия в массе 1000 зерен примерно такого же уровня – 29,4% ($38,56 \pm 0,32$ для пленчатых и $29,70 \pm 0,32$ г для голозерных образцов).

Среднее содержание хлорофилла *b* в листьях пленчатых образцов овса за время исследований составило $7,03 \pm 0,25$, а у голозерных образцов – $7,95 \pm 0,25$ мг/г сухого вещества, т.е. на 13,1% выше. Вариабельность содержания пигмента по годам была значимо выше для группы пленчатых образцов (21,5%), чем для голозерных (17,9%). Сильной реакцией на условия выращивания обладали образцы пленчатого овса 168h10 (коэффициент вариации 28,9%) и И-4618 (32,1%). Наибольшую устойчивость содержания пигмента среди набора пленчатого овса показал образец И-4584 (10,2%), среди голозерных овсов – образец 683h05 (11,0%).

Не было обнаружено статистически значимых отличий в содержании каротиноидов между голозерными и пленчатыми овсами; содержание этих вспомогательных пигментов фотосинтеза во флаговых листьях составило, соответственно, $3,15 \pm 0,05$ и $3,18 \pm 0,08$ мг/г сухого вещества. Среди набора пленчатых образцов вариабельность признака была выше, достигая 11,5% у образца И-4595 и 21,0% у образца И-4618. У остальных образцов коэффициент вариации колебался от 2,5 (образец 3h14) до 9,1% (образец 168h10).

Результаты оценки содержания пигментов во флаговых листьях овса, выращиваемых на кислом и нейтральном почвенных фонах, приведены в таблице.

Таблица

Содержание фотосинтетических пигментов во флаговом листе растений овса,
мг/г сухой массы

Каталог	Хлорофилл <i>a</i>			Хлорофилл <i>b</i>			Каротиноиды		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Нейтральный почвенный фон (рН 6,3)									
Пленчатые сорта									
168h10	14,25	12,56	7,62	8,75	7,63	2,75	3,32	3,01	2,42
397h07	12,66	13,28	9,05	7,61	7,93	3,33	3,15	3,25	2,74
2h09	14,04	11,88	9,48	8,51	6,94	3,85	3,32	2,95	2,85
378h08	13,46	12,47	12,31	8,86	7,98	5,55	2,99	2,82	3,36
3h14	13,85	13,93	11,09	8,39	7,96	4,76	3,26	3,51	3,25
И-4584	16,10	14,74	14,48	10,15	9,54	7,17	4,19	3,30	3,74
И-4592	12,92	12,97	8,55	7,83	8,48	3,44	3,14	2,93	2,73
И-4595	15,86	14,13	8,17	8,74	8,60	3,35	4,01	3,35	2,68
И-4618	19,10	13,82	6,57	10,52	8,50	2,74	4,64	3,27	2,2
ст. Аргамак	13,29	13,67	10,03	8,50	8,28	4,32	3,02	3,23	2,90
Голозерные сорта									
1h07	13,96	14,29	11,33	8,57	9,31	5,77	3,28	3,22	3,04
857h05	15,31	14,41	9,23	10,39	9,71	4,17	3,37	3,19	2,78
7h12o	14,95	14,07	12,08	9,57	9,34	6,02	3,42	3,13	3,26
683h05	14,75	15,49	13,35	9,95	10,14	7,07	3,23	3,43	3,42
629h09	10,73	14,66	10,38	6,52	9,94	4,92	2,61	3,18	2,96
14h12o	13,86	14,20	9,02	8,50	9,14	4,00	3,23	3,19	2,77
ст. Вятский	13,75	14,78	10,58	9,17	9,74	4,92	3,04	3,28	3,11
Кислый почвенный фон (рН 3,8)									
Пленчатые сорта									
168h10	5,87	7,09	3,61	2,39	3,49	1,15	2,00	2,28	1,56
397h07	6,59	7,02	5,97	2,77	3,59	3,53	2,33	2,27	2,18
2h09	3,74	7,86	6,48	1,16	4,03	3,55	1,61	2,43	2,28
378h08	5,06	5,65	5,82	1,80	2,84	3,16	1,91	1,87	2,10
3h14	6,11	6,83	5,77	2,14	3,42	3,19	2,16	2,31	2,29
И-4584	4,80	9,41	9,50	2,09	5,25	5,07	1,88	2,63	3,07
И-4592	4,78	7,48	8,98	1,75	3,82	5,07	1,84	2,34	2,94
И-4595	3,74	7,48	7,36	1,32	3,85	3,85	1,59	2,33	2,63
И-4618	5,45	5,37	8,37	2,15	2,64	4,32	2,00	1,91	2,84
ст. Аргамак	5,59	9,17	8,90	2,19	4,86	3,83	2,11	2,66	2,82

Голозерные сорта									
1h07	7,13	5,79	8,09	2,83	2,52	4,35	2,52	2,15	2,72
857h05	5,04	9,14	9,18	2,29	5,25	4,90	1,92	2,50	3,10
7h12o	7,20	9,58	8,84	3,00	5,22	4,80	2,43	2,69	2,95
683h05	5,49	9,81	8,35	2,33	5,48	4,48	2,07	2,65	2,88
629h09	7,09	10,26	10,37	3,27	5,76	5,78	2,37	2,90	4,66
14h12o	7,55	9,60	8,11	3,06	5,22	4,38	2,50	2,75	2,79
ст. Вятский	6,11	9,41	10,37	2,94	5,51	5,61	2,24	2,59	3,19

В целом в условиях кислой реакции почвенного раствора голозерные формы овса имеют значимое преимущество перед пленчатыми овсами как по общему содержанию всех трех групп пигментов, так и по массовому содержанию *Chl a* в обеих структурных частях фотосистем – и в реакционных центрах, и в светособирающих комплексах.

Как результат такой разной реакции на кислотность почвенного раствора, растения голозерных форм овса в значимо меньшей степени снижают содержание пигментов во флаговых листьях в стрессовых эдафических условиях роста, что делает их более привлекательными для селекции кислото- или алюмоустойчивых сортов данной культуры.

Наглядным способом выявления различий между двумя группами генотипов овса является кластерный анализ с учетом содержания всех типов пигментов одновременно. При учете степени депрессии синтеза пигментов и перераспределения их между реакционными центрами и светособирающими комплексами фотосистем хлоропластов флаговых листьев растений овса, голозерные генотипы четко распределяются в один кластер, куда, кроме них, попадают и два пленчатых генотипа – Аргамак и И-4592 (рисунок). В то же время, как видно из данных рисунка, голозерные генотипы значительно сильнее различаются между собой по комплексу признаков пигментного аппарата.

Таким образом, исследования показали значительные различия в характере перестройки пигментного комплекса флаговых листьев различных генотипов овса в фазу цветения под влиянием эдафических стрессовых факторов. Голо-

зерные формы овса проявили большую степень устойчивости фотосинтетического аппарата к стрессовому воздействию, чем пленчатые формы. Голозерные образцы содержали большее количество пигментов в светособирающих комплексах антенн, а пленчатые формы – в реакционных центрах фотосистем. Наибольшую устойчивость содержания пигментов среди набора пленчатого овса показал образец И-4584 (10,2%), среди голозерных овсов – образец 683h05 (11,0%). Среди набора пленчатых образцов вариабельность содержания каротиноидов была выше (до 21,0%), чем у голозерных (до 9,1%).

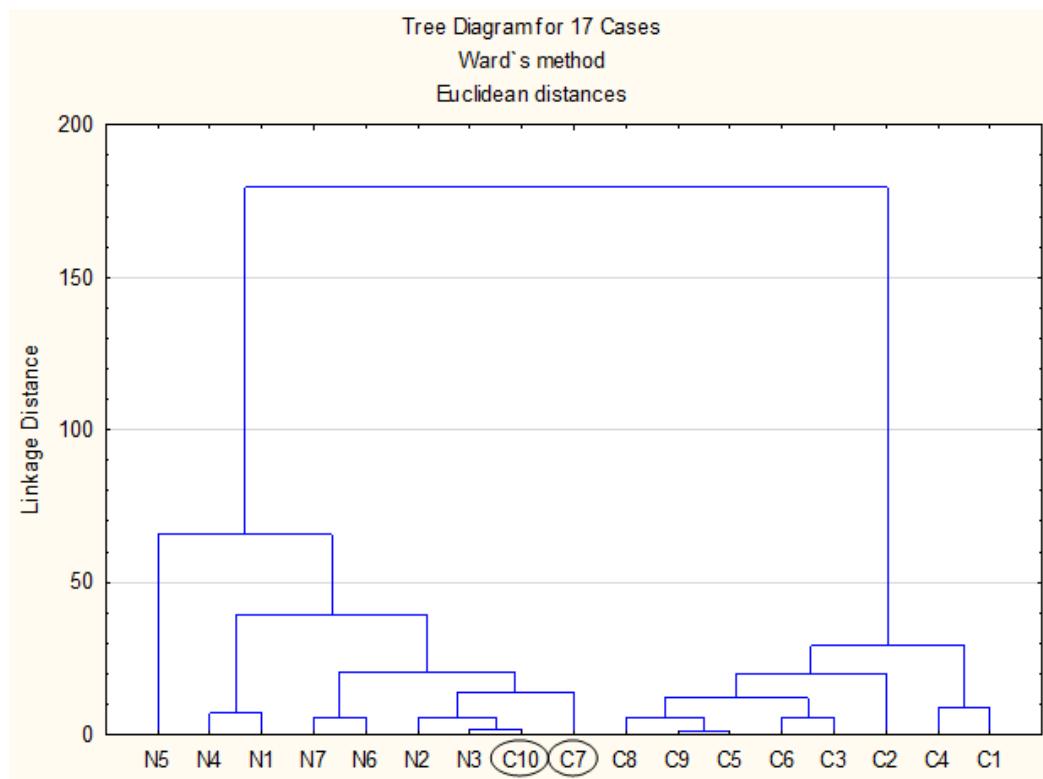


Рис. Распределение генотипов овса по кластерам с учетом степени депрессии содержания пигментов и их распределения по структурным частям фотосистем под действием алюмокислого почвенного стресса
(усредненные данные за 2015...2017 гг.)

Примечание. С – пленчатые генотипы, Н – голозерные генотипы. Номера после буквы соответствуют порядковому номеру генотипа в таблице 1.

Для селекции кислото- или алюмоустойчивых сортов данной культуры в качестве материнской формы следует привлекать голозерные образцы, так как наследование параметров пигментного комплекса листьев идет в основном по материнскому генотипу.

Список литературы

1. Баталова Г.А. Овес в Волго-Вятском регионе. – Киров: Орма, 2013. – 288 с.
2. Креславский В.Д. Молекулярные механизмы устойчивости фотосинтетического аппарата к стрессу / В.Д. Креславский, Р. Карпентиер, В.В. Климов [и др.] // Биологические мембранны. – 2007. – Т. 24, №3. – С. 195–217.
3. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. – М., 1985. – 270 с.
4. Тараканко С. Пигментный состав сортов мягкой озимой пшеницы / С. Тараканко, Е. Живлюк // Наука и инновации. – 2009. – №7(77). – С. 25–28.
5. Щенникова И.Н. Модели сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2015. – №6. – С. 9–13.
6. Щенникова И.Н. Изменение пигментного комплекса флаговых листьев ячменя под действием эдафического стресса / И.Н. Щенникова, Л.П. Кокина, Е.М. Лисицын // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2010. – №1(16). – С. 24–28.
7. Li X., Xiao J., He B. Chlorophyll fluorescence observed by OCO-2 is strongly related to gross primary productivity estimated from flux towers in temperate forests // Remote Sensing of Environment. 2018. V. 204. p. 659–671.
8. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry (CPFA). New York: John Wiley and Sons, 2001. F4.3.1-F4.3.8.