

**BIOLOGY AND ECOLOGY OF THE RARE SPECIES *ASTRAGALUS GALACTITES* PALL.  
IN THE SOUTH-WESTERN TRANSBAIKAL**

© 2019

**Alekseeva Elena Valentinovna**, candidate of biological sciences,  
associate professor of Zoology and Ecology Department  
*Buryat State University named after D. Banzarov (Ulan-Ude, Russian Federation)*

**Abstract.** *Astragalus galactites* Pall. (milky-white astragalus) is a species listed in the Red Book of the Republic of Buryatia, has a category and status of 4 (DD), a species with an uncertain status, a representative of the Fabaceae family. *A. galactites* belongs to the mountain-steppe zone and has a point distribution. It belongs to the early spring flowering stem-rooted herbaceous polycarpaeae, with polycyclic monopodially growing shoots. It's a hemicyptophyte. *A. galactites* occupies a narrow ecological niche: steppe, sandy, rocky steppe slopes and saline coast of lakes. It prefers open spaces with good illumination, winds and fluctuations in temperature, to which it has perfectly adapted, and which are a selective filter for other species. It is confined to dry low grass-semi-shrub mountain petrophytic steppes, well adapted to the lack of moisture – sclerophyte. Most of all it is found in saline habitats. It's an optional halophyte. In the vegetation cover, the milky-white astragalus acts as an assektor. By the type of ecological-phytocenotic strategy, *A. galactites* belongs to ecotopic patients. As a rare species it needs protection. We propose to create protected areas, which is part of the biocenoses of the coenopopulation of the rare species, as an optimal measure for floristic diversity conservation.

**Keywords:** *Astragalus galactites* Pall.; Red Book of the Republic of Buryatia; blooming in early spring; stem-bearing herbaceous polycarpic; environmental features; developmental biology; polycyclic monopodially growing shoots; hemicyptophyte; sclerophic; optional halophyte.

\* \* \*

УДК 633.11:581.132

DOI 10.24411/2309-4370-2019-13102

Статья поступила в редакцию 24.04.2019

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ НА ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС  
ЛИСТЬЕВ СОРТОВ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ РАЗНЫХ ГРУПП СПЕЛОСТИ**

© 2019

**Амунова Оксана Сергеевна**, кандидат биологических наук,  
научный сотрудник лаборатории селекции пшеницы  
*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого  
(г. Киров, Российская Федерация)*

**Лисицын Евгений Михайлович**, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и зоологии;  
заведующий отделом эдафической устойчивости растений  
*Вятская государственная сельскохозяйственная академия (г. Киров, Российская Федерация); Федеральный  
аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого (г. Киров, Российская Федерация)*

**Аннотация.** Создание новых, более продуктивных сортов зерновых культур часто связано с усилением степени устойчивости к абиотическим факторам среды выращивания. Косвенно эту устойчивость можно оценить по количественным изменениям пигментного состава. Практический интерес представляет сравнение работы пигментного комплекса флаговых листьев сортов пшеницы разных групп спелости, что может дать информацию о направлении селекционного улучшения физиолого-генетических признаков растений в различных экологических условиях. Растения 9 селекционных линий и 2 сортов-стандартов выращивали в 2016–2018 гг. на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в условиях континентального климата с умеренно холодной зимой и теплым летом. Исследование пигментного комплекса флаговых листьев в фазу цветения позволило выявить отличия раннеспелых и среднеспелых генотипов по изучаемым параметрам в разных гидротермических условиях. В среднем за годы изучения среднеспелые генотипы накапливали больше хлорофилла *a*, чем раннеспелые; это превышение составило около 10%. Изученные сорта различались распределением пигмента между структурными частями фотосистем: у среднеспелых линий больше хлорофилла *a* содержалось в реакционных центрах, тогда как количество хлорофилла *a* в светособирающих комплексах не отличалось. Гидротермические условия конкретного года значимо влияли на различия между группами сортов. Так, в засушливых условиях содержание хлорофилла *b* и каротиноидов во флаговых листьях у сортов двух групп спелости значимо не отличалось. Но в нормальных и влажных условиях среднеспелые сорта по сравнению с раннеспелыми содержали хлорофилла *b* на 11,0–12,6% больше, каротиноидов – на 7,6–23,1%. В засушливых условиях две группы сортов значимо различались по массовому соотношению хлорофиллов *a* и *b*: у среднеспелых сортов оно было на 5,0% выше, чем у раннеспелых. По содержанию хлорофиллов *a* и *b* в фазу цветения в группе среднеспелых сортов выделены селекционные линии С-64, С-65, С-103, С-129. Количество хлорофиллов у этих генотипов статистически значимо превысило показатели стандартного сорта Маргарита. В раннеспелой группе селекционные линии по содержанию пигментов находились на уровне стандарта Баженка. Сорта этой группы сильно реагировали на изменение абиотических усло-

вий выращивания (количество выпадающих осадков и температуру воздуха): коэффициенты вариации содержания хлорофилла *a* имели значения 6,5–16,3%, содержания хлорофилла *b* – 26,9–29,7%, каротиноидов – 4,1–17,2%.

**Ключевые слова:** гидротермические условия; увлажнение; засуха; флаговый лист; фаза цветения; селекционные линии; раннеспелые сорта; среднеспелые сорта; фотосинтетический аппарат; пигменты; хлорофилл; каротиноиды; светособирающий комплекс; реакционный центр; устойчивость к средовым стрессам; Кировская область; коэффициент вариации; дисперсионный анализ.

### Введение

Из-за относительно короткого периода вегетации, а также часто повторяющихся засушливых условий второй половины вегетационного сезона в Волго-Вятском регионе одним из основных направлений селекционной работы с зерновыми культурами является создание раннеспелых сортов. Они характеризуются не только коротким сроком созревания, хорошим качеством зерна, но и высокой урожайностью. Большая часть урожая культивируемых растений является результатом работы фотосинтетического аппарата, растительные пигменты (хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды, антоцианы и т.д.) играют жизненно важную роль в деятельности земной биосферы и в поддержании жизни на планете посредством участия в реакциях фотосинтеза [1, с. 1]. Молекулы хлорофиллов осуществляют конверсию солнечной радиации в запасаемую химическую энергию посредством улавливания квантов света, передачи уловленной энергии в реакционные центры фотосистем и разделения зарядов в пределах реакционных центров [2, с. 318].

Количество фотосинтетических пигментов в листьях зерновых культур является наследуемым признаком сорта, при этом имея свою возрастную и структурную динамику. Обычно содержание хлорофиллов возрастает от нижних к верхним и становится максимальным у флагового листа в фазу цветения. Создание новых, более продуктивных сортов зерновых культур часто связано именно с количественными изменениями пигментного состава листьев. Например, сорта озимой пшеницы интенсивного типа в 1965–2004 гг. выводились с параллельным повышением содержания каротиноидов и хлорофиллов в листьях в течение вегетации [3, с. 28].

Преобладающей формой хлорофилла у наземных растений является хлорофилл *a*, который представлен как в реакционных центрах (РЦ) фотосистем, так и в светособирающих комплексах (ССК) хлоропластов [4, с. 494]. Хлорофилл *b* находится только в ССК. Молекулы хлорофиллов ССК, поглощая энергию света, передают ее в РЦ, где и происходит процесс превращения световой энергии в энергию химических связей. Вклад в сбор световой энергии вносят также каротиноиды, улавливая ее в тех частях спектра, которые слабо используются хлорофиллами. Каротиноиды помогают рассеивать избыток энергии, предохраняя тем самым фотосистему от повреждения [4, с. 496; 5, с. 22].

Поскольку фотосинтез является основным метаболическим процессом, обеспечивающим образование биомассы растений, усиленное внимание уделяется изучению роли признаков, связанных с функционированием фотосинтетического аппарата. Имея данные о количественном содержании зеленых пигментов в листьях, можно оценить эффективность использования растениями фотосинтетически активной радиации, прогнозировать продуктивность посевов,

сроки уборки урожая, обеспеченность посевов минеральными (в частности, азотными) удобрениями.

В физиолого-генетических и селекционных работах чаще всего анализируются следующие показатели пигментного комплекса растений: 1) содержание хлорофиллов *a*, *b*, их сумма; 2) содержание каротиноидов; 3) соотношение хлорофиллов *a* / *b*; 4) соотношение хлорофиллов / каротиноидов; 5) содержание пигментов в светособирающих комплексах и реакционных центрах фотосистем.

Физиологические данные свидетельствуют о том, что снижение содержания хлорофилла тесно связано со снижением урожая в полевых условиях [6, с. 727; 7, с. 120]. Подобные снижения содержания пигментов могут быть связаны с повреждениями структуры тилакоидных мембран и PSII [8, с. 2069–2071]. Поддержание высокого уровня содержания хлорофилла у пшеницы считается желательным признаком в селекции на устойчивость к высоким температурам, поскольку он указывает на меньшую степень фотоингибирования при действии стрессора [8, с. 2072; 9, с. 1459; 10, с. 8; 11, с. 86]. Снижение показателя массового соотношения хлорофиллов *a* / *b* может свидетельствовать о повышении адаптивного потенциала растений в условиях стресса и быть показателем устойчивости растений [12, с. 79; 13, с. 1827]. При снижении этого показателя наблюдается уменьшение содержания хлорофилла в гранах хлоропластов. При повышении – уменьшение степени агрегации тилакоидов в мембранах хлоропластов [14, с. 305]. Считают, что соотношение хлорофиллов *a* и *b* косвенно характеризует соотношение между комплексами реакционных центров фотосистем I и II и размером периферической антенны фотосистемы II [15, с. 2].

Статистически значимое повышение содержания каротиноидов и соотношения суммы хлорофиллов и каротиноидов может свидетельствовать об активизации защитных механизмов в условиях стресса (например, таких экологических факторов, как несбалансированность минерального питания, низкая pH, ионы алюминия, недостаток или избыток влаги, засуха и т.д.), поскольку одной из функций каротиноидов является защита фотосинтетического аппарата в условиях стресса [16, с. 169; 17, с. 171]. Каротиноиды выступают в роли тушителей активных форм кислорода в хлоропластах [18, с. 1272].

В связи с этим практический интерес представляет сравнение работы пигментного комплекса флаговых листьев сортов пшеницы разных групп спелости в различных условиях увлажнения, что может дать информацию о направлении селекционного улучшения физиолого-генетических признаков растений.

**Цель исследования** – выявить различия реакции раннеспелых и среднеспелых генотипов мягкой яровой пшеницы на гидротермические условия выращивания по параметрам структурно-функциональной организации пигментных комплексов флаговых листьев.

**Материалы и методики исследования**

Объектом исследования послужили 9 селекционных линий мягкой яровой пшеницы селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и два стандартных сорта: сорт Баженка (Кировская обл.) – стандарт группы раннеспелых генотипов, сорт Маргарита (Ульяновская обл.) – стандарт среднеспелой группы. Растения выращивали в 2016–2018 гг. на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Почвы участка дерново-подзолистые среднесуглинистые, сформированы на элювии пермских глин, pH 4,3. Содержание подвижного фосфора – 166 мг/кг почвы, обменного калия – 175 мг/кг, гумуса 2,02%. Агротехника – общепринятая для зоны. Предшественник – чистый пар. Посев проведен в оптимальные сроки в физиологически спелую почву с нормой высева 6 млн всхожих семян/га.

Оценку состояния пигментного комплекса флаговых листьев осуществляли в фазу цветения растений пшеницы. С каждой повторности каждого сорта отбирались по 20 флаговых листьев, в лабораторных условиях в трехкратной повторности каждого образца брались выечки из средней части листьев, после чего проводилась экстракция пигментов чистым ацетоном. Определение оптической плотности растворов осуществлялось на спектрофотометре SHIMADZU UVmini-1240 (Japan). Выделение пигментов (хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды) и расчет их содержания проводили по методике Н.К. Lichtenthaler, С. Bushmann [19, с. 5–6]. Аналитическая повторность опыта трехкратная.

Анализ элементов структуры продуктивности проводили по 10 растениям с двух полевых повторностей.

Полученные данные обрабатывали статистически с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007 и AGROS 2.0. В таблицах представлены средние значения с указанием ошибки среднего, сравнения образцов проведены при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

Метеорологические условия в годы исследования существенно различались по температуре и водному режиму. Вегетационный сезон 2016 г. характеризовался недостаточной влагообеспеченностью на фоне повышенных температур воздуха. Отклонение от климатической нормы суммарного количества осадков составило 19,4%, температуры – 1,5°C. Сумма эффективных температур на 35,0% превысила климатическую норму. Вегетация пшеницы в 2017 г. проходила в основном в условиях пониженных температур и избыточного увлажнения. Отклонение от климатической нормы суммы осадков составило 22,0%, температуры – 1,2°C. Сумма эффективных температур была на 6,0% ниже средней многолетней. В 2018 г. отклонение суммы осадков от климатической нормы составило 6,0%, температуры воздуха +0,6°C. Сумма эффективных температур на 11,0% превысила показатель многолетней средней. Оценивая условия вегетации мягкой яровой пшеницы, 2018 год можно характеризовать как оптимальный для роста и развития растений, 2017 г. – как излишне увлажненный, 2016 г. – как засушливый. Сочетание параметров, характеризующих метеосостояние вегета-

ции, привело к варьированию сроков наступления фаз онтогенеза и их продолжительности. В результате период «всходы – цветение» у пшеницы в зависимости от группы спелости длился в 2016 г. – 45–48 суток, в 2017 г. – 54–57 суток, в 2018 г. – 46–50 суток, а продолжительность вегетационного периода была соответственно равна 76–79, 90–92 и 81–90 суткам.

**Результаты и обсуждение**

В таблице 1 представлены средние значения содержания фотосинтетических пигментов во флаговых листьях раннеспелых и среднеспелых сортов пшеницы в фазу цветения.

**Таблица 1** – Содержание фотосинтетических пигментов во флаговых листьях мягкой яровой пшеницы, мг/г сухой массы

Генотипы	Год изучения	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
Раннеспелые	2016	9,04 ± 0,66	4,76 ± 0,35	2,83 ± 0,20
	2017	8,54 ± 0,43	4,93 ± 0,16	2,25 ± 0,13
	2018	7,81 ± 0,22	2,85 ± 0,09	2,49 ± 0,07
	Среднее	8,46 ± 0,36	4,18 ± 0,67	2,52 ± 0,17
Среднеспелые	2016	9,50 ± 0,42	4,77 ± 0,24	2,72 ± 0,09
	2017	9,97 ± 0,27	5,55 ± 0,20	2,77 ± 0,07
	2018	8,48 ± 0,26	3,24 ± 0,20	2,66 ± 0,07
	Среднее	9,31 ± 0,44	4,52 ± 0,68	2,72 ± 0,03

Согласно данным табл. 1, к началу цветения среднеспелые сорта пшеницы накапливали больше хлорофилла *a*, чем раннеспелые. В среднем за годы исследования это превышение составило около 10%. Вариабельность признака по годам исследования была незначительной: для среднеспелых сортов она составила 8,2%, для раннеспелых – 7,3%. Такая невысокая вариабельность может объясняться относительно низким влиянием гидротермических условий на процессы синтеза пигмента по сравнению с условиями минерального питания, которые по годам практически не изменялись.

Статистически значимые различия по количеству хлорофилла *a* у сортов пшеницы двух групп спелости отмечены в 2017 и 2018 гг. В эти годы среднеспелые генотипы содержали соответственно на 16,7 и 8,5% больше пигмента, чем раннеспелые. Главным образом сорта разных групп спелости различались распределением пигмента между структурными частями фотосистем: у среднеспелых линий больше хлорофилла *a* содержалось в реакционных центрах, тогда как количество хлорофилла *a* в светособирающих комплексах хлоропластов не отличалось. Так, в 2017 г. раннеспелые генотипы содержали в РЦ фотосистем 6,85 ± 0,20 мг/г хлорофилла *a*, среднеспелые 7,77 ± 0,23 мг/г, в 2018 г. показатели составили 4,54 ± 0,14 и 5,08 ± 0,28 мг/г соответственно.

В условиях 2016 г. (недостаточная влагообеспеченность на фоне повышенных температур воздуха) различия по содержанию хлорофилла *a* и его распределению между функциональными структурами хлоропластов у разных по спелости групп пшеницы были статистически незначимы.

Анализ содержания хлорофилла *b* во флаговых листьях пшеницы показал, что в условиях 2016 г. ко-

личество пигмента в 1 г сухой массы у сортов двух групп спелости также значимо не отличалось. Условия вегетации 2017 и 2018 гг. (избыточное и нормальное увлажнение и пониженные и близкие к климатической норме температуры соответственно) способствовали более интенсивному синтезу хлорофилла *b* у среднеспелых сортов, в результате чего они содержали его на 12,6 и 11,0% соответственно больше, чем раннеспелые. Коэффициент вариации содержания пигмента в листьях среднеспелых сортов составил 26,0%, раннеспелых – 27,6%.

В экологических исследованиях широко используется такой параметр оценки, как массовое соотношение хлорофиллов *a* и *b* [20, с. 387]. Исследуемые генотипы пшеницы произрастали в одинаковых условиях освещенности, и, действительно, в 2017–2018 гг. различия по данному параметру между двумя группами сортов выявлены не были. Условия вегетации 2016 г. (засуха средней степени – осадков на 19,4% менее климатической нормы, превышение температуры воздуха на 1,5°C) способствовали появлению значимых отличий между группами: соотношение хлорофиллов *a/b* у среднеспелых сортов было на 5,0% выше, чем у раннеспелых. В целом по годам исследования вариабельность данного параметра была значительной и составила для раннеспелых сортов 27,1%, среднеспелых – 24,1%.

В 2017 и 2018 гг. среднеспелые сорта пшеницы статистически значимо превосходили раннеспелые генотипы по содержанию во флаговых листьях вспомогательных пигментов – каротиноидов. Разница между группами сортов составила 23,1 и 7,6% соответственно (табл. 1). В 2016 г. большее количество каротиноидов в 1 г сухой массы содержали раннеспелые сорта, однако это преимущество было статистически незначимо. Вариабельность содержания каротиноидов по годам была выше для раннеспелых генотипов (11,6%), в то время как для среднеспелых образцов она составила всего 1,7%.

В исследовании пигментного комплекса растений часто используют показатель массового соотношения суммы хлорофиллов и каротиноидов [19, с. 6–7]. Данное соотношение позволяет оценить степень разрушения молекул хлорофилла, поскольку в процессе старения листа или в стрессовых условиях хлорофиллы разрушаются раньше, чем каротиноиды [21, с. 705]. По отношению суммы хлорофиллов к каротиноидам значимые отличия между группами сортов выявлены только в 2017 г.: у раннеспелых генотипов показатель имел значение  $5,99 \pm 0,15$ , у среднеспелых –  $5,61 \pm 0,12$ . Варьирование параметра по годам было выше у раннеспелых сортов – 17,0%, в то время как у среднеспелых – 12,8%.

По содержанию хлорофиллов *a* и *b* в фазу цветения в группе среднеспелых сортов выделены селекционные линии С-64, С-65, С-103, С-129. Количество хлорофиллов у этих генотипов статистически значимо превысило показатели стандартного сорта Маргарита (табл. 2).

Максимальное суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* отмечено у линии С-65 (15,64 мг/г сухой массы), в то время как у стандарта этот показатель составил 12,72 мг/г. По среднему за период исследования по содержанию каротиноидов во флаговых ли-

стьях селекционные линии С-84 и С-122 находились на уровне стандарта Маргарита, остальные генотипы значимо превысили его.

В раннеспелой группе селекционные линии по содержанию пигментов находились на уровне стандарта Баженька. Сорта этой группы сильно реагировали на изменение условий выращивания: коэффициенты вариации содержания хлорофилла *a* имели значения 6,5–16,3%, содержания хлорофилла *b* – 26,9–29,7%, каротиноидов – 4,1–17,2%.

**Таблица 2** – Средние значения содержания фотосинтетических пигментов во флаговых листьях мягкой яровой пшеницы в 2016–2018 гг.

Сорт, линия	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды
Раннеспелая группа			
Баженька-ст.	$8,35 \pm 0,31$	$4,13 \pm 0,71$	$2,73 \pm 0,22$
С-177	$8,71 \pm 0,82$	$4,47 \pm 0,74$	$2,46 \pm 0,24$
С-180	$8,32 \pm 0,48$	$3,93 \pm 0,61$	$2,38 \pm 0,06$
Среднеспелая группа			
Маргарита-ст.	$8,48 \pm 0,62$	$4,24 \pm 0,81$	$2,48 \pm 0,12$
С-54	$9,53 \pm 0,53$	$4,40 \pm 0,75$	$2,67 \pm 0,08$
С-64	$10,03 \pm 0,31$	$4,79 \pm 0,60$	$2,98 \pm 0,03$
С-65	$10,33 \pm 0,54$	$5,30 \pm 0,52$	$2,91 \pm 0,07$
С-84	$8,39 \pm 0,09$	$3,87 \pm 0,50$	$2,55 \pm 0,07$
С-103	$9,48 \pm 0,46$	$4,74 \pm 0,95$	$2,71 \pm 0,10$
С-122	$8,67 \pm 0,64$	$4,01 \pm 0,78$	$2,59 \pm 0,08$
С-129	$9,61 \pm 0,68$	$4,77 \pm 0,74$	$2,84 \pm 0,10$

В среднеспелой группе большинство сортов также сильно реагировали на условия вегетации. Например, у стандартного сорта Маргарита коэффициенты вариации содержания пигментов имели значения: 12,7% – для хлорофилла *a*, 33,2% – для хлорофилла *b*, 8,6% – для каротиноидов, у линии С-103 коэффициенты вариации составили 15,8%, 34,8% и 6,5%. Наиболее стабильное по годам содержание пигментов имели селекционные линии С-64, С-65, С-84. У данных генотипов коэффициенты вариации содержания хлорофилла *a* находились в пределах 1,9–9,1%, содержания хлорофилла *b* – 16,9–22,2%, содержания каротиноидов – 1,9–4,8%.

Результаты дисперсионного анализа позволили рассчитать долю влияния генотипа и факторов внешней среды на содержание пигментов во флаговых листьях пшеницы двух групп спелости (табл. 3).

В группе раннеспелых сортов, согласно данным табл. 3, количество фотосинтетических пигментов в 1 г сухой массы флаговых листьев значимо зависело от условий года вегетации. На содержание хлорофилла *a* сильное влияние оказало также взаимодействие факторов «генотип» и «годы». В группе среднеспелых сортов содержание хлорофилла *a* в равной степени определялось генотипом и условиями выращивания. Еще более сильное влияние генотипа в данной группе выявлено по содержанию каротиноидов во флаговых листьях.

Оценка доли генотипа и факторов внешней среды по алгоритму биометрических расчетов на основе результатов двухфакторного дисперсионного анализа

показала, что в условиях Волго-Вятского региона преобладающая роль генотипа проявилась по содержанию в листьях в фазу цветения хлорофилла *a* и каротиноидов (31,1 и 35,7% соответственно). Также на количественную выраженность данных пигментов существенное влияние оказало сочетание факторов «генотип» и «годы»: для хлорофилла *a* – 22,8%, для каротиноидов – 27,8%. Содержание хлорофилла *b* и доля хлорофилла *a* в ССК хлоропластов обусловлены в основном факторами среды. Для содержания хлорофилла *b* доля влияния средовых факторов составила 58,3%, для хлорофилла *a*, находящегося в ССК хлоропластов, – 61,8%.

**Таблица 3** – Доля влияния генотипа ( $\eta^2_A$ ) и условий года ( $\eta^2_B$ ) на содержание пигментов во флаговых листьях мягкой яровой пшеницы в фазу цветения (2016–2018 гг.), %

Показатели	$\eta^2_A$	$\eta^2_B$	$\eta^2_{AB}$	$\eta^2_X$
Раннеспелая группа				
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сух. массы	2,6	22,3*	36,1*	32,3
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сух. массы	3,7	67,7*	4,3	23,4
Каротиноиды, мг/г сух. массы	14,0	36,5*	12,4	29,2
Доля хлорофилла <i>a</i> в ССК, %	3,2	65,4*	2,71	21,5
Среднеспелая группа				
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сух. массы	30,1*	25,2*	19,0*	23,6
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сух. массы	12,3*	57,6*	7,5	22,2
Каротиноиды, мг/г сух. массы	44,5*	2,0	18,8*	29,5
Доля хлорофилла <i>a</i> в ССК, %	4,2	60,4*	5,7	29,0

Примечание. \* – влияние фактора статистически значимо при  $p \leq 0,05$ .

В условиях разных лет (засуха 2016 года, избыточное увлажнение 2017 г. и близкие к климатической норме условия 2018 г.) исследования степень зависимости между содержанием пигментов во флаговых листьях пшеницы в фазу цветения и параметрами структуры продуктивности была различной. В засушливом 2016 году у среднеспелых сортов содержание хлорофилла *a* достоверно коррелировало с длиной главного колоса ( $r = 0,722$ ) и числом зерен главного колоса ( $r = 0,790$ ). Длина главного колоса и число зерен в нем достоверно коррелировали с содержанием каротиноидов ( $r = 0,821$  и  $r = 0,824$  соответственно). У раннеспелых генотипов достоверно коррелировали длина главного колоса и количество хлорофилла *a* ( $r = 0,999$ ). В излишне увлажненном 2017 году количество хлорофилла *b* достоверно отрицательно коррелировало с продуктивной кустистостью: у раннеспелых сортов  $r = -0,999$ , у среднеспелых сортов  $r = -0,779$ . В этом году масса 1000 зерен у раннеспелых сортов была достоверно связана с содержанием в их флаговых листьях хлорофилла *a* ( $r = -0,997$ ). В 2018 году достоверные корреляционные связи между содержанием пигментов и элементами продуктивности сортов были отмечены в сред-

неспелой группе. Так, содержание хлорофилла *a* коррелировало с массой 1000 зерен ( $r = 0,792$ ), содержание хлорофилла *b* – с массовыми показателями главного колоса и зерна с него ( $r = 0,727$  и  $0,749$  соответственно), а также с урожайностью линии ( $r = 0,722$ ).

#### Заключение

Исследование реакции пигментного комплекса мягкой яровой пшеницы на абиотические факторы среды (гидротермические условия выращивания 2016–2018 гг.) позволило выявить различия его структуры у раннеспелых и среднеспелых генотипов. Выявлено, что при климатической норме увлажнения вегетационного периода среднеспелые сорта содержат во флаговых листьях значимо больше фотосинтетических пигментов, чем раннеспелые. Отмечено, что у среднеспелых линий больше хлорофилла *a* содержалось в РЦ фотосистем, при этом количество хлорофилла *a* в ССК хлоропластов у сортов двух групп спелости не отличалось. В засушливых условиях различия между группами сортов по содержанию пигментов не выявлены, однако отмечено, что соотношение хлорофиллов *a/b* у среднеспелых сортов было на 5,0% выше, чем у раннеспелых. В условиях переизбытка почвенной влаги в листьях раннеспелых сортов ускоряется процесс разрушения хлорофиллов – на это указывает более высокий показатель отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам ( $5,99 \pm 0,15$ ), в то время как у среднеспелых сортов он имел значение  $5,61 \pm 0,12$ .

Максимальное суммарное значение содержания хлорофиллов *a* и *b* отмечено у линии С-65 (15,64 мг/г сухой массы), в то время как у стандарта Маргарита этот показатель составил 12,72 мг/г. В раннеспелой группе селекционные линии содержали равное со стандартом Баженка количество фотосинтетических пигментов.

Содержание пигментов в листьях пшеницы значимо зависело от условий вегетации. Наиболее стабильное по годам содержание пигментов (наибольшую степень абиотической устойчивости) имели среднеспелые селекционные линии С-64, С-65, С-84.

Оценка доли генотипа и факторов среды показала, что в условиях Волго-Вятского региона преобладающая роль генотипа проявилась по содержанию в листьях в фазу цветения хлорофилла *a* и каротиноидов (31,1 и 35,7% соответственно). Также на количественную выраженность данных пигментов существенное влияние оказало сочетание факторов «генотип» и «условия увлажнения»: для хлорофилла *a* – 22,8%, для каротиноидов – 27,8%. Содержание хлорофилла *b* и доля хлорофилла *a* в ССК хлоропластов обусловлены в основном гидротермическими факторами среды. Для содержания хлорофилла *b* доля влияния средовых факторов составила 58,3%, для хлорофилла *a*, находящегося в ССК хлоропластов, – 61,8%.

#### Список литературы:

1. Croft H., Chen J.M. Leaf pigment content // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Oxford: Elsevier Inc. 2017. P. 1–22. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10547-0.
2. Chen M. Chlorophyll Modifications and Their Spectral Extension in Oxygenic Photosynthesis // Annual

Review of Biochemistry. 2014. № 83. P. 317–340. DOI: 10.1146/annurev-biochem-072711-162943.

3. Тарасенко С., Живлюк Е. Пигментный состав сортов мягкой озимой пшеницы // Наука и инновации. 2009. № 7 (77). С. 25–28.

4. Croce R., van Amerongen H. Natural strategies for photosynthetic light harvesting // Nature Chemical Biology. 2014. Vol. 10. P. 492–501. DOI: 10.1038/nchembio.1555.

5. Demming-Adams B., Adams W. The role of xanthophylls cycle carotenoids in the protection of photosynthesis // Trends and Plant Science. 1996. Vol. 1. P. 21–27. DOI: 10.1016/S1360-1385(96)80019-7.

6. Reynolds M.P., Balota M., Delgado M.I.B., Amani I., Fischer R.A. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions // Australian Journal of Plant Physiology. 1994. Vol. 21. P. 717–730.

7. Mohammadi M., Karimizadeh R.A., Naghavi M.R. Selection of bread wheat genotypes against heat and drought tolerance based on chlorophyll content and stem reserves // Journal of Agriculture & Social Sciences. 2009. Vol. 5. P. 119–122.

8. Ristic Z., Bukovnik U., Prasad P.V.V. Correlation between Heat Stability of Thylakoid Membranes and Loss of Chlorophyll in Winter Wheat under Heat Stress // Crop Science. 2007. Vol. 47 (5). P. 2067–2075.

9. Talebi R. Evaluation of chlorophyll content and canopy temperature as indicators for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2011. Vol. 5 (11). P. 1457–1462.

10. Sharifi P., Mohammadkhari N. Effects of drought stress on photosynthesis factors in wheat genotypes during anthesis // Cereal Research Communications. 2015. Vol. 44 (2). P. 1–11.

11. Cao Z., Mondal S., Cheng D., Wang C., Lui A., Song J., Li H., Zhao Z., Lui J. Evaluation of agronomic and physiological traits associated with high temperature stress tolerance in the winter wheat cultivars // Acta Plant Physiol. 2015. Vol. 37. P. 80–90.

12. Nahakpam S. Chlorophyll Stability: A Better Trait for Grain Yield in Rice under Drought // Indian Journal of Ecology. 2017. Vol. 44 (Special Issue-4). P. 77–82.

13. Maglovski M., Gersi Z., Rybansky L., Bardacova M., Moravcikova J., Bujdos M., Dobrikova A., Apostolova E., Kraic J., Blehova A., Matusikova I. Effect of nutrition on wheat photosynthetic pigment responses to arsenic stress // Polish Journal of Environmental Studies. 2019. Vol. 28 (3). P. 1821–1829.

14. Кобилицька М., Маленька У. Вплив саліцилової кислоти на вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах кукурудзи за дії кадмій хлориду // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2012. Вип. 58. С. 300–308.

15. Eggink L.L., Park H., Hooper J.K. The role of chlorophyll *b* in photosynthesis: Hypothesis // BMC Plant Biology. 2001. 1:2.

16. Strzalka K., Kostecka-Gugala A., Latowski D. Carotenoids and Environmental Stress in Plants: Significance of Carotenoid-Mediated Modulation of Membrane Physical Properties // Russian Journal of Plant Physiology. 2003. Vol. 50, № 2. P. 168–172.

17. Joshi P.N., Ramaswamy N.K., Iyer R.K. Nair J.S., Pradhan M.K., Gartia S., Biswal B., Biswal U.C. Partial protection of photosynthetic apparatus from UV-B-induced damage by UV-A radiation // Environmental and Experimental Botany. 2007. Vol. 59. P. 166–172. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2005.11.005.

18. Ramel F., Birtic S., Cuine S., Triantaphylides C., Ravanat J.-L., Havaux M. Chemical Quenching of Singlet Oxygen by Carotenoids in Plants // Plant Physiology. 2012. Vol. 158. P. 1267–1278.

19. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy // eds. R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker and P. Sporns. New York: John Wiley and Sons, 2001. F4.3.1–F4.3.8.

20. Li Y., Liu C., Zhang J., Yang H., Xu L., Wang Q., Sack L., Wu X., Hou J., He N. Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold-temperate forests: association with gross primary productivity // Ecological Indicators. 2018. Vol. 85. P. 383–389.

21. Junker L.V., Ensminger I. Relationship between leaf optical properties, chlorophyll fluorescence and pigment changes in senescing *Acer saccharum* leaves // Tree Physiology. 2016. Vol. 36. P. 694–711.

## LEAF PIGMENT COMPLEX OF SPRING SOFT WHEAT CULTIVARS OF DIFFERENT MATURITY GROUPS UNDER DIFFERENT MOISTURE REGIMES

© 2019

**Amunova Oksana Sergeevna**, candidate of biological sciences, researcher of Spring Wheat Breeding Laboratory  
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (Kirov, Russian Federation)

**Lisitsin Evgeny Mikhailovich**, doctor of biological sciences, professor of Ecology and Zoology Department;  
head of Plant Edaphic Resistance Department

Vyatka State Agricultural Academy (Kirov, Russian Federation);

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (Kirov, Russian Federation)

**Abstract.** Creation of new higher productive cultivars of cereal crops is often linked with straightening of degree of resistance to abiotic environmental factors. Indirectly this degree of resistance could be estimated on quantitative change in leaf pigment composition. There is practical interest to compare the activity of pigment complex of flag leaves of wheat cultivars belonging to different maturity groups that could give information on direction of breeding improvement of plant physiological-and-genetic traits under different ecological conditions. Plants of nine breeding lines and two standard cultivars grew in 2016–2018 at the experimental field of FARC of North-East (Kirov) under continental climate conditions with moderately cold winter and warm summer. The study of flag leaves pigment complex allows to discover differences between early and middle-ripening cultivars on investigated parameters in different hydrothermal conditions. During the study years, middle-ripening cultivars accumulated more chlorophyll *a* than the early ones. On average this excess was about 10%. The studied cultivars were differed on distribution of

pigment between structural parts of photosystems: middle-ripening cultivars had more chlorophyll *a* in reaction centers whereas the amount of the pigment in light-harvesting complexes was not differed. Hydrothermal conditions significantly influenced the differences between cultivar groups. Thus, under dry conditions the content of chlorophyll *b* and carotenoids in flag leaves of cultivars belonging to both group of maturity had no significant differences. Under normal or moist conditions middle-ripening cultivars contained 11,0–12,6% more chlorophyll *b* and 7,6–23,1% more carotenoids than the early cultivars. Under dry conditions the two groups of cultivars significantly differed on mass ratio chlorophyll *a/b*: in the middle-ripening cultivars it was 5,0% higher than in the early ones. Based on chlorophyll *a* and *b* content at flowering stage breeding lines C-64, C-65, C-103, and C-129 were selected. The amount of chlorophyll in these genotypes was significantly higher than in Margarita standard cultivar. Within the group of early cultivars, no one exceeded Bazhenka standard by the pigment content. The cultivars of this group reacted on abiotic growing conditions change very much (the amount of precipitations and air temperature): the coefficients of chlorophyll *a* content variation were 6,5–16,3%, of chlorophyll *b* content – 26,9–29,7%, of carotenoids content – 4,1–17,2%.

**Keywords:** hydrothermal conditions; moistening; drought; flag leaf; flowering stage; breeding lines; early cultivars; middle-ripening cultivars; photosynthetic apparatus; pigments; chlorophyll; carotenoids; light-harvesting complex; reaction center; resistance to environmental stresses; Kirov Region; coefficient of variation; analysis of variances.

\* \* \*

УДК 574.24

DOI 10.24411/2309-4370-2019-13103

Статья поступила в редакцию 25.05.2019

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА АККУМУЛЯЦИЮ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЛАЦЕНТАРНОМ БАРЬЕРЕ ЖИТЕЛЬНИЦ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2019

**Беляновская Александра Игоревна**, аспирант отделения геологии

Инженерной школы природных ресурсов; докторант лаборатории машиностроения и дизайна  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск, Российская  
Федерация); Национальная высшая школа искусств и ремёсел (г. Бордо, Французская Республика)

**Барановская Наталья Владимировна**, доктор биологических наук,

профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск, Российская Федерация)

**Станкевич Светлана Сергеевна**, кандидат медицинских наук,

руководитель Центра поддержки грудного и рационального вскармливания г. Томска

Центр медицинской профилактики (г. Томск, Российская Федерация)

**Ларат Бертран**, PhD, доцент

**Перри Николя**, PhD, профессор

Национальная высшая школа искусств и ремёсел (г. Бордо, Французская Республика)

**Аннотация.** В статье рассмотрены закономерности накопления химических элементов в плацентарной ткани жительниц разных населённых пунктов Томской агломерации (г. Томск, г. Асино, пос. Мирный, пос. Моряковский затон), а также районов г. Томска (Советский, Ленинский, Октябрьский, Кировский) как индикаторов, демонстрирующих степень антропогенного воздействия на человеческий организм. В статье описаны возможные источники поступления химических элементов в организм человека в зависимости от территории проживания. Определены химические элементы, максимально (коэффициент концентрации превышает 1,5) накапливающиеся в тканях жительниц каждого населённого пункта. Для города Томска таковыми являются: Au, As, La, U, Br; для села Моряковский затон – La, As, Ca, Sc; для посёлка Мирный – Hf, Sm, Ce, Au; в городе Асино максимальный коэффициент концентрации, равный 1,2, достигает Eu. Опираясь на результаты исследования, можно предположить, что в барьерной системе плаценты, как в защитном механизме организма, избирательно аккумулируются химические элементы в зависимости от их поступления из окружающей среды. В специфичном накоплении элементов проявляется так называемое «геохимическое лицо» каждого исследуемого района.

**Ключевые слова:** биосубстраты человека; плацентарная ткань; инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА); биогеохимические барьеры; элементный состав живого организма; редкоземельные элементы; Томская агломерация; живое вещество; техногенное воздействие; антропогенно-преобразованные территории.

### Введение

Исследования биосубстратов человека на данный момент являются актуальными при оценке качества окружающей среды. Зарубежные и российские учёные активно исследуют химический состав таких биообъектов, как волосы, кровь, грудное молоко, плазма крови, спинномозговая жидкость, зольный

остаток человека и др. [1–3]. Результаты исследований широко используются также для диагностирования ряда заболеваний [4–6]. Репродуктивная система может использоваться в качестве биологического индикатора в связи со способностью реагировать на изменения условий среды обитания. Химический состав данной системы отражает в своём составе избы-