

## ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС РАСТЕНИЙ ОВСА ПОСЕВНОГО В УСЛОВИЯХ ОСЕННЕГО ЗАКАЛИВАНИЯ

В.Е. Софронова, В.А. Чепалов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия, vse07\_53@mail.ru

**Аннотация.** Изучена динамика фотосинтетических пигментов в осенне-вегетирующих листьях ярового овса (*Avena sativa* L., сорта Покровский) позднего посева в условиях Центральной Якутии. Выявлено, что снижение содержания пигментов в зеленых молодых листьях обусловлено сезонным понижением температуры. Найдены не совпадающие между собой временные и температурные диапазоны, которые контролируют достоверное варьирование отдельных показателей пигментного состава: Хл ( $a+b$ ) и суммы Кар, Хл ( $a+b$ )/Кар, Хла/Хлb.

**Ключевые слова:** *Avena sativa*, фотосинтетические пигменты, холодное закаливание

**DOI:** 10.31255/978-5-94797-319-8-725-729

В условиях Центральной Якутии молодые растения *Avena sativa* позднего посева осенью вегетируют при пониженных и низких положительных температурах длительное время. Поэтому использование естественного холодного климата Якутии без возвратных потеплений в осенний период, консервирующего зеленую массу растений овса, является перспективным направлением в производстве сочных кормов в условиях многолетней мерзлоты [Иванов, Исаева, 2013].

Пластичность и адаптивность пигментного аппарата – существенный фактор структурно-функциональной устойчивости ФСА растений. В сезонном климате усиление защитных механизмов в ФСА сопровождается выраженными изменениями количественного и качественного состава фотосинтетических пигментов [Софронова и др., 2016; Перк и др., 2018]. В данной работе впервые проведены исследования динамики пигментного состава осенне-вегетирующих листьев *A. sativa* L. в условиях Центральной Якутии.

Объектом служили растения овса посевного с яровым типом развития (*A. sativa* L., сорт Покровский). Растения выращивали на опытном участке, расположенном на средней пойме р. Лена (окрестности Якутска, 62°15' с.ш., 129°37' в.д.). Почвы участка – пойменные лугово-черноземные, сформированные на легком суглинке. Схему полевых опытов планировали таким образом, чтобы у растений позднего посева не происходило огрубление побегов до периода достижения среднесуточных низких положительных температур от +5 °С до 0 °С в Центральной Якутии (середина сентября – начало октября). Овес контрольного варианта (I срок сева) высевался в оптимальные для климатического региона сроки (17 июня 2017 г.), опытный вариант (II срок сева) – в более поздние сроки (20 июля 2017 г.). Молодые растения позднего посева проходили период закаливающихся среднесуточных пониженных и низких положительных температур воздуха от +10 до 0 °С, в течение не менее трех с половиной недель (таблица).

Температуру воздуха на участке регистрировали с помощью термографа DS 1922L iBitton (“Dallas Semiconductor”, США) с интервалом 1 ч. Фотосинтетические пигменты из свежего растительного материала экстрагировали 100% ацетоном при 8...10 °С на слабом свете. Гомогенат центрифугировали 20 мин при 8000 g при температуре 4 °С. Содержание Хл ( $a + b$ ) и суммы Кар в супернатанте определяли спектрофотометрически с использованием спектрофотометра Agilent 8453E (“Agilent

Technologies Deutschland GmbH”, Германия) путем регистрации оптической плотности при длинах волн 662, 644 и 470 нм. Сухую массу растительного материала определяли высушиванием параллельных проб (50 мг, 3–4 повторности) до постоянного веса в сушильном шкафу при 100 °С и основной погрешностью стабилизации температуры  $\pm 2$  °С.

Эксперименты показали, что на содержание фотосинтетических пигментов в листьях овса влияет совокупность факторов: сроки посева, фазы роста и развития, количество осадков, температура воздуха и длина светового дня (таблица, рис. 1).

**Таблица.**

**Сроки прохождения фенологических фаз развития *A. sativa* первого и второго посевов и метеорологические показатели в период проведения исследований (Центральная Якутия, 2017 г.)**

Срок взятия проб	Фазы развития	Среднесуточная температура воздуха, °С*	Сумма осадков, мм**	Фотопериод, ч
I срок посева (17 июня), летний период				
17.07	начало выхода в трубку	20.8 $\pm$ 3.4	1.0	18.4
01.08	выметывание	19.4 $\pm$ 5.6	8.8	17.2
11.08	молочная спелость	17.6 $\pm$ 1.6	12.6	16.2
21.08	восковая спелость	15.4 $\pm$ 3.7	12.4	15.3
04.09	созревание	11.6 $\pm$ 5.2	12.3	14.0
II срок посева (20 июля), осенний период				
11.08	кущение	17.6 $\pm$ 1.6	12.6	16.2
21.08	начало выхода в трубку	15.4 $\pm$ 3.7	12.4	15.3
04.09	трубкование	11.6 $\pm$ 5.2	12.3	14.0
13.09	трубкование	8.0 $\pm$ 3.8	35.5	13.1
18.09	выметывание	6.9 $\pm$ 3.0	12.2	12.4
26.09	молочная спелость	5.0 $\pm$ 3.1	10.7	11.6
02.10	молочная спелость	0.2 $\pm$ 1.0	11.0	11.2

\*за 48 ч до взятия проб; \*\*за 10 суток до взятия проб, представлены данные Якутского республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу.

В динамике за вегетационный период у растений с оптимальным сроком посева нет четко выраженного максимума в накоплении пигментов. Уровень накопления Кар тесно коррелировал с содержанием Хл (рис. 1а). Наименьшее содержание фотосинтетических пигментов выявлено в засушливый период июля (таблица, рис. 1а). Мы связываем это с адаптацией ФСА к высокой инсоляции и недостатку влаги. Плотность потока ФАР в дневные часы в июле доходила до 1200...1500 мкмоль/(м<sup>2</sup> с) при сумме осадков 1 мм за декаду. Как правило, содержание пигментов у большинства травянистых растений повышается в генеративной фазе. В это время сильно замедляется прирост площади листьев у овса. Действительно, к фазе выметывания метелки, когда для анализа использовали только флаговые листья, наблюдали повышение уровня Хл ( $a+b$ ) на 39%, суммы Кар на 55% (рис. 1а). Дополнительно, положительный эффект оказало выпадение умеренных осадков в течение третьей декады июля (таблица). После цветения формирование новых листьев на растении не наблюдается, в то время как площадь флагового листа возрастает до фазы молочной спелости [Мыхлык, Дуктова, 2015], который остается фотосинтетически активным до фазы восковой спелости, что позволяло поддерживать высокие уровни Хл и Кар с

уровнем вариабельности 7.5 и 5% соответственно (рис. 1а) на фоне умеренных осадков в течение августа (таблица). В фазе созревания семян происходило постепенное отмирание листьев, что приводило к падению содержания Хл и Кар в конце августа, начале сентября, несмотря на достаточное увлажнение (рис. 1а). Малая вариабельность соотношения Хла/Хлb у растений первого срока посева (2.2...2.4, рис. 2а) свидетельствует о постоянстве соотношения РЦ/ССК в ФСА не зависимо от фаз развития, суммы осадков.

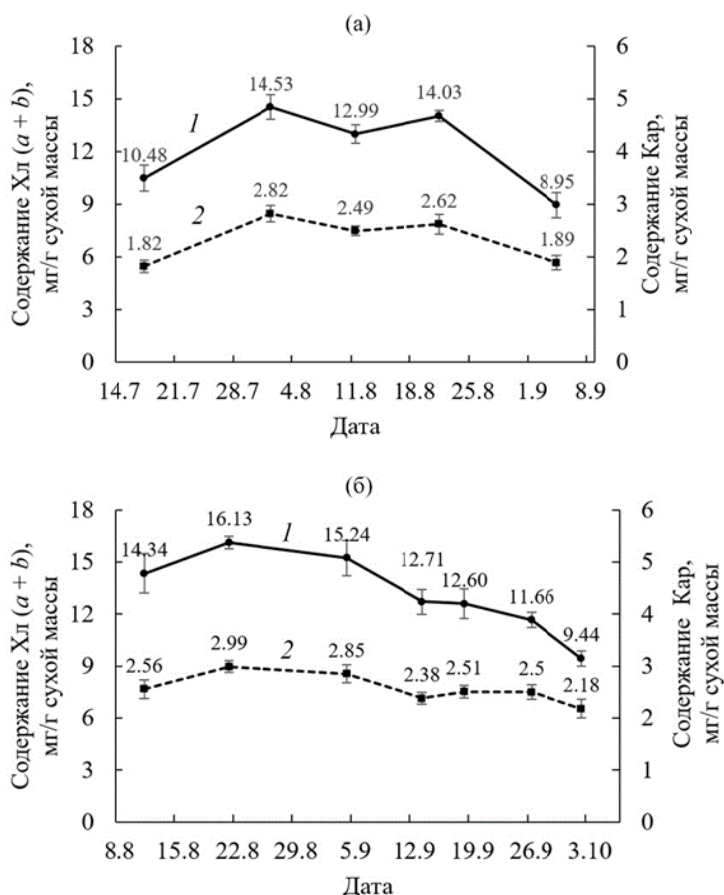


Рис. 1. Динамика содержания суммы Хл и Кар в листьях *A. sativa* первого (а) и второго (б) сроков посева. 1 – Хл (a+b); 2 – сумма Кар.

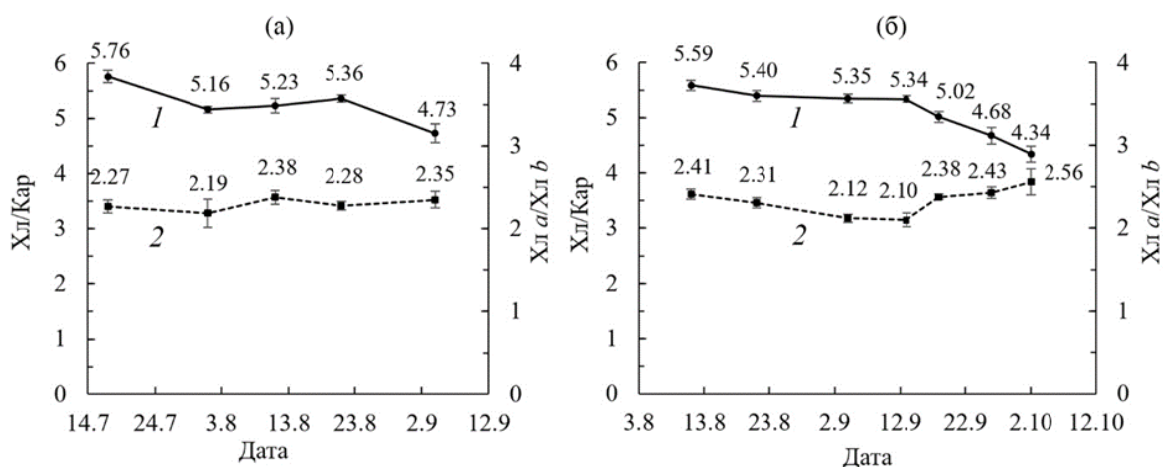


Рис. 2. Сезонная динамика соотношения фотосинтетических пигментов в листьях *A. sativa* первого (а) и второго (б) сроков посева. 1 – Хл a/b; 2 – Хл (a+b)/Кар.

Для осенне-вегетирующих растений позднего срока посева в диапазоне среднесуточных температур 11...15 °С было характерно более высокое содержание Хл и Кар по сравнению с летне-вегетирующими растениями (рис. 2б). Мы полагаем, что причина этих различий обусловлена влиянием погодных условий (таблица). К этому времени наблюдали регулярное выпадение осадков с преобладанием облачных дней. Дальнейшее снижение среднесуточной температуры от 8 °С до 1 °С, укорочение фотопериода приводило к постепенному уменьшению содержания Хл ( $a+b$ ) на 40...41% относительно начала третьей декады августа. Депрессия содержания суммы Кар при сезонном снижении температуры была ниже таковой для Хл ( $a+b$ ) и составила 27.1%.

Незначительное снижение соотношения Хл  $a/b$  (2.1) у осенне-вегетирующих растений овса в первой половине сентября при 8...12 °С отражает увеличение доли пигментов в ССК ФСА от 65 до 70 % в дождливые дни. В целом, амплитуды колебаний этого показателя были сопоставимы для растений обоих сроков посева до 18 сентября (рис. 2). Таким образом, отношение доли Хла, входящего в состав РЦ, к доле Хла, принадлежащего к ССК не зависит от снижения температуры до 6...8 °С, что косвенно свидетельствует о холодной устойчивости соотношения РЦ/ССК в ФСА овса. Дальнейшее снижение температур воздуха от 5.1 до 0...1 °С с 20 сентября по 2 октября (таблица) приводило к медленному достоверному увеличению соотношения Хл  $a/b$  (2.56), что косвенно указывает на уменьшение поперечного сечения ССК ФСА, направленное на адаптивное снижение абсорбции света на единицу площади листа при низких положительных температурах.

Соотношение (Хл  $a+b$ )/Кар является индикатором «зрелости» растений, его низкие значения являются показателями старения, стресса или повреждения ФСА [Баталова и др., 2017]. Величины этого показателя в фазе кущения и начале трубкования для обоих сроков посевов овса, независимо от количества осадков, имели высокие значения (5.6...5.8), что обусловлено молодым возрастом растений (таблица, рис. 2). Не намного ниже были показатели соотношения (5.2...5.4) у летне-вегетирующих растений в период выметывания, молочной и восковой спелости и у осенне-вегетирующих растений позднего посева до фазы выметывания (рис. 2). Значительное снижение (до 4.7) у растений первого срока посева наблюдали в ходе старения листьев. У осенне-вегетирующих растений позднего посева снижение соотношения (Хл  $a+b$ )/Кар связано с увеличением доли Кар в пигментном пуле ФСА в еще молодых зеленых листьях при снижении температуры до 2.4...6.9 °С. Необходимо отметить, что общее содержание Кар в диапазоне низких положительных температур 2.4...5.1 °С оставалось довольно высоким (2.5 мг/г сухой массы) и было всего на 5...11% ниже, чем у летне-вегетирующих растений в аналогичных фазах развития. Мы предполагаем, что в диапазоне указанных низких температур фотопротекторные и антиоксидантные функции Кар имеют важное значение для поддержания структурной целостности ФСА. Значительное снижение Кар, так и соотношения (Хл  $a+b$ )/Кар также выявлено при повреждающих околонулевых температурах в начале октября (рис. 1б и 2б).

#### Литература

Баталова Г.А., Лисицын Е.М., Тулякова М.В. Изучение состояния фотосинтетического аппарата овса в селекции на устойчивость к эдафическому стрессу // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2017. – №3(23). – С. 43–50.

Иванов Б.И., Исакова И.Ю. Эколого-биологические особенности кормопроизводства в криолитозоне России // Наука и образование. – 2013. – № 2. – С. 101–106.

Мыхлык А.И., Дуктова Н.А. Оценка фотосинтетической деятельности сортов овса посевного в зависимости от уровня азотного питания // Вестник Белорусской сельскохозяйственной академии. – 2015. – Вып. 3. – С. 130–137.

Софронова В.Е., Дымова О.В., Головки Т.К., Чепалов В.А., Петров К.А. Адаптивные изменения пигментного комплекса хвои *Pinus sylvestris* при закаливании к низкой температуре // Физиология растений. – 2016. – Т. 63, № 4. – С. 461–471.

Перк А.А., Чепалов В.А., Нохсоров В.В., Явловская Л.Л., Софронова В.Е., Петров К.А. Способ получения растительного сырья с повышенным содержанием каротиноидов / Патент России № 2649338. 2017. Бюл. № 10.

## CHANGES IN THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN *AVENA SATIVA* DURING ACCLIMATION TO AUTUMNAL COLD TEMPERATURES

V.E. Sofronova, V.A. Chepalov

Institute for Biological Problems of Cryolithozone Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia, vse07\_53@mail.ru

**Abstract.** We found that low temperature is the important trigger for the autumn downregulation of Chl (*a+b*) and carotenoids in green leaves of field grown spring cultivar oat plants, Pokrovsky (*Avena sativa* L.), which were sown at the end of July. We revealed different time and temperature ranges of variation for chlorophylls (*a+b*) and carotenoids and increase in the Chl *a/b* ratio, decrease in the Chl (*a+b*)/carotenoids ratio.

**Keywords:** *Avena sativa*, photosynthetic pigments, cold acclimation