

УДК 581.132:633.14

<https://www.doi.org/10.47813/dnit-II.2023.7.556-563>

EDN [PVGRMP](#)



## Предварительная оценка фотосинтетических особенностей сортов озимой ржи селекции Красноярского НИИСХ

**В.Ю. Ступко\***, М.А. Тимина, Н.А. Нешумаева

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,  
Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО  
РАН», пр. Свободный, 66, Красноярск, 660041, Россия

\*E-mail: [stupko@list.ru](mailto:stupko@list.ru)

**Аннотация.** При сравнении стародавних и современных сортов ржи помимо разницы в высоте отмечают и различия в уровне содержания пигментов фотосинтеза в тканях. Однако, остается неясным, связано ли изменение содержания пигментов с изменением архитектуры растений. В условиях севооборотов Красноярского НИИСХ проведен отбор растений озимой ржи, отличающихся по высоте растений. Определены концентрации хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов во флаговом листе и стебле озимой ржи в фазу «выход в трубку – колошение». Методом укосов определен вес надземной биомассы. Длина стебля увеличивалась в ряду Арга → Красноярская универсальная → Енисейка. Проведена оценка связи уровня пигментов фотосинтеза с высотой растений и их сырой биомассой. Выявлены признаки тренда к увеличению содержания хлорофиллов и каротиноидов, в расчёте на единицу площади листа, и биомассы параллельно снижению высоты стебля. При оценке содержания пигментов на единицу массы органов закономерность менее выражена и отмечается лишь при сравнении сортов Арга и Красноярская универсальная с высокорослым сортом Енисейка.

**Ключевые слова:** озимая рожь, пигменты фотосинтеза, короткостебельность, биомасса.

## Preliminary assessment of photosynthetic features of winter rye cultivars selected by the Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture

**V.Yu. Stupko\***, M.A. Timina, N.A. Neshumaeva

Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Federal Research Center ‘Krasnoyarsk Scientific Center’ SB RAS, 66 Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

\*E-mail: [stupko@list.ru](mailto:stupko@list.ru)

**Abstract.** When comparing ancient and modern rye cultivars, in addition to the difference in height, differences in the content of photosynthetic pigments in tissues are also noted. However, it remains unclear whether the change in pigment content is related to the change in plant architectonics. Plants of winter rye cultivars which differ in plant height were collected under the conditions of crop rotation of the Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture. The concentrations of chlorophylls *a* and *b* and carotenoids were determined in the flag leaves and stems of winter rye at the “booting-earing” stage. The weight of the above-ground biomass was determined with the hay-harvest method. The stem length increases from the Arga cultivar to the cv. Krasnoyarskaya universalnaya and further to the cv. Yeniseyka. The relationship between the level of photosynthetic pigments and the height of plants as well as their wet biomass was assessed. A trend line toward an increase in the content of chlorophylls and carotenoids, assessed per leaf area, and biomass was revealed against the background of a decrease in stem height. When assessing the pigment content per mass of organs, the trend is less pronounced and is observed only when comparing the varieties Arga and Krasnoyarskaya universalnaya with the highest cultivar Yeniseyka.

**Keywords:** winter rye, photosynthetic pigments, short-stem, biomass.

## 1. Введение

Селекция ржи, как и других зерновых, направлена на укорочение стебля и увеличение доли хозяйственно-ценной части в надземной биомассе. Особую роль на этом фоне приобретают верхние листья (флаг и подфлаг) [1]. Современные сорта отличаются крупными листьями и меньшим суммарным содержанием хлорофиллов [2]. Также увеличивается количество *Xla* и снижается *Xlb*, на 11,8%, что говорит об уменьшении размеров светособирающих комплексов (ССК) ФС2. Таким образом, увеличивается эффективность использования поглощаемых квантов (снижается риск фотоповреждения и доля энергии, рассеиваемой в ходе нефотохимического тушения) [3]. Однако, не ясно, являются ли такие отличия атрибутом более короткого стебля и увеличения роли листьев в общем фотосинтезе или результатом общего течения селекционного процесса на повышение продуктивности.

## 2. Постановка задачи (Цель исследования)

Целью настоящего поискового исследования являлось выявление признаков возможных различий в фотосинтетическом аппарате сортов озимой ржи селекции КрасНИИСХ с различной высотой стебля.

## 3. Методы и материалы исследования

Данные получены на растениях конкурсного сортоиспытания озимой ржи в селекционном севообороте КрасНИИСХ в 2021 году. Почва опытного участка представлена чернозёмом обыкновенным среднесуглистым, среднегумусным, тяжелосуглистым. Содержание азота и фосфора в почве среднее (N-NO<sub>3</sub> – 10,12 мг/кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 18,84 мг/100г), обменным калием - высокая (K<sub>2</sub>O – 13,90 мг/100г) по Чирикову.

Посев проводили в третьей декаде августа по чистому пару. Норма высева 6 млн. всхожих зерен на га. Площадь делянки 10 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная. Учетная площадь для определения сырой биомассы – 1 м<sup>2</sup>. Объект – сорта Енисейка (высота растений перед уборкой 125-130 см), Красноярская универсальная (110-115 см), Арга (100-105 см). Для определения содержания пигментов во флаговом листе и стебле с делянки (n=3) отбирали по 5 типичных растений в фазу «выход в трубку-колошение» (Енисейка, Красноярская универсальная), «выход в трубку» (Арга). При втором укосе «выход в трубку-колошение» (Арга II) содержание пигментов не определяли. В лабораторных условиях брались высечки (D=8 мм) из средней части листа (n=3). Участок стебля длиной 10-12 мм вырезали под вторым узлом. Фиксировали диаметр стебля.

Экстракцию проводили 96% этанолом на водяной бане при 60°C. Оптическую плотность определяли на спектрофотометре SmartSpec Plus (Bio-Rad Laboratories, Inc., US). Содержание хлорофиллов (мг/г сырой массы листа)  $a$  ( $X_{ЛA}$ ),  $b$  ( $X_{ЛB}$ ) и каротиноидов ( $K_{ap}$ ) определяли по методике [4] согласно формулам:

$$C_{X_{ЛA}} = 13,36D_{665} - 5,19D_{649} \quad (1)$$

$$C_{X_{ЛB}} = 27,43D_{649} - 8,12D_{665} \quad (2)$$

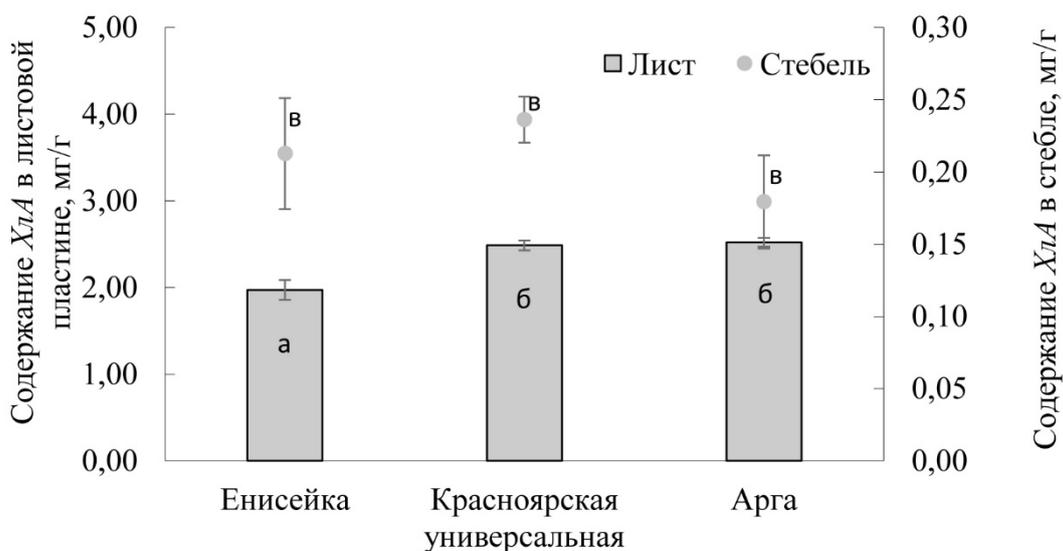
$$C_{K_{ap}} = (1000D_{470} - 2,13C_{X_{ЛA}} - 97,64C_{X_{ЛB}})/209 \quad (3)$$

где  $C$  – концентрация пигмента, мкг/мл,  $D_{665}$ ,  $D_{649}$ ,  $D_{470}$  – оптическая плотность экстракта на соответствующей длине волны.

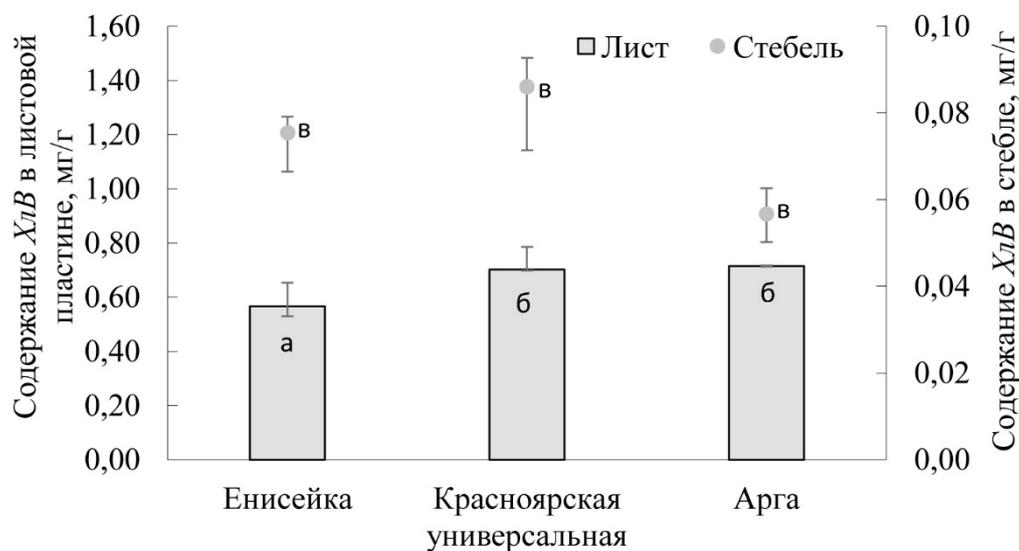
Для оценки достоверности влияния факторов (сорт, орган) применяли многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA Factorial). Достоверность различий определяли согласно критерию Тьюки. В графиках приведены средние значения параметров и стандартные ошибки среднего. При неравенстве дисперсий (достоверное различие при  $p < 0,05$  согласно тесту Левена) достоверность влияния факторов рассчитывали методом Краскела-Уоллеса. Достоверность различий определяли по  $z$ -критерию. В этом случае в графиках приводятся медианные значения и первая и вторая квартиль. Статистическую обработку проводили с использованием компьютерного пакета статистических программ Statistica 12.0 (StatSoft 2010).

#### 4. Полученные результаты

Показано статистически значимо большее содержание  $X_{ЛA}$  в листьях сортов Красноярская универсальная и Агра в сравнении с сортом Енисейка (рисунок 1). Анализ данных по этому показателю у стеблей не выявил значимых различий между сортами. Аналогичные результаты получены по содержанию  $X_{ЛB}$  (рисунок 2). Не выявлено каких-то изменений в соотношении хлорофиллов, что предполагает отсутствие различий соотношение между комплексами реакционных центров фотосистем I и II и размером периферической антенны фотосистемы II у изучаемых сортов [5]. Размер ССК в стеблях был ниже, чем в листовых пластинах. Соотношение  $X_{ЛA}/B$  для стеблей находилось на уровне  $2,82 \pm 0,06$ , для флагового листа  $3,50 \pm 0,08$ . Разница этих значений была близка к таковой (20%) для определенной в работе [2] для стародавнего высокорослого сорта МУП.



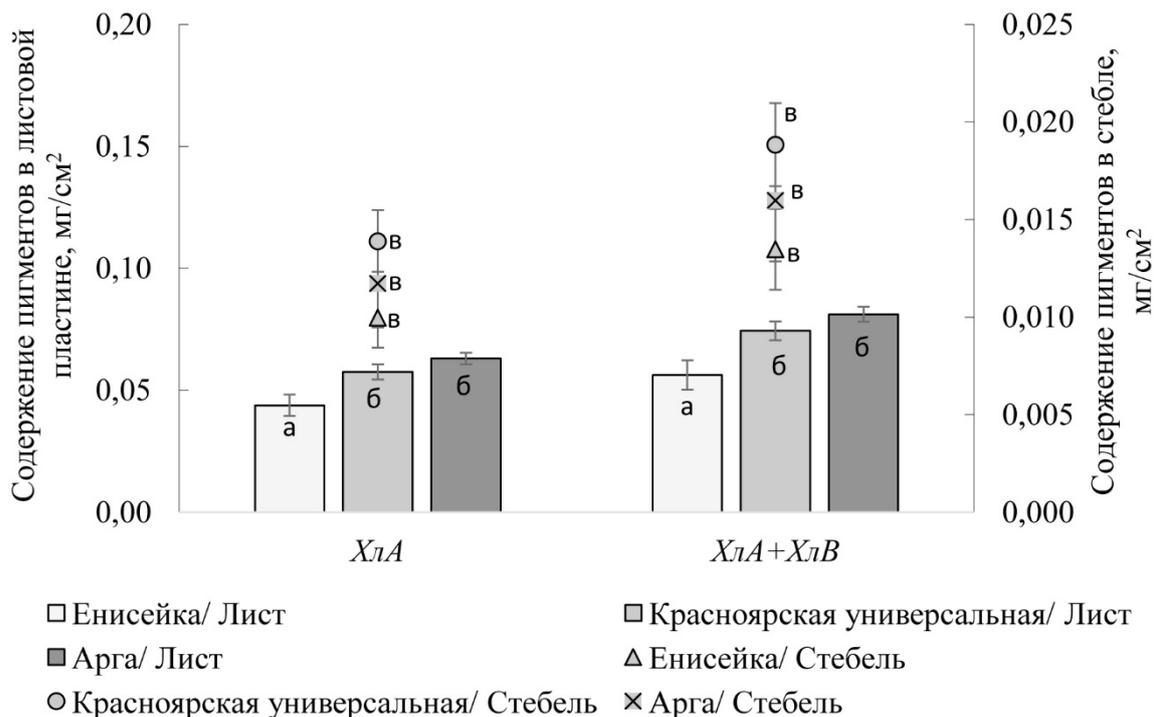
**Рисунок 1.** Содержание хлорофилла *a* в органах различных сортов озимой ржи в пересчёте на грамм сырой биомассы (среднее±ст.ош.). Одинаковыми буквами отмечены значения, не отличающиеся достоверно при  $p < 0,05$ .



**Рисунок 2.** Содержание хлорофилла *b* в органах различных сортов озимой ржи в пересчёте на грамм сырой биомассы. (медиана±25/75) Одинаковыми буквами отмечены значения, не отличающиеся достоверно при  $p < 0,05$ .

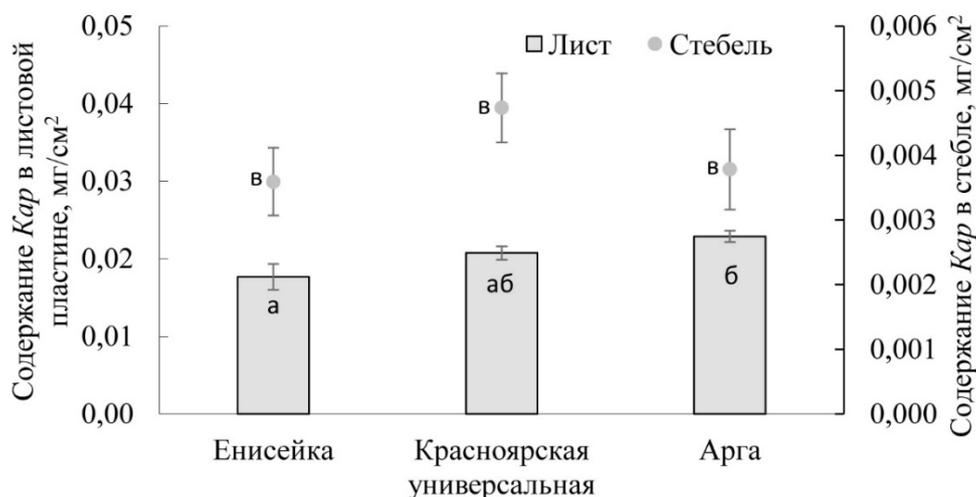
Из-за неравномерного распределения хлоропластов в листьях важным параметром становится содержание пигментов в расчёте на площадь фотосинтезирующего органа. Однако, в этом отношении получены результаты аналогичные данным по содержанию хлорофилла в пересчёте на сырой вес. Меньшее содержание *ХлА* и суммарного

содержания хлорофиллов выявлено на листовых пластинках сорта Енисейка (рисунок 3). Тенденция к увеличению параметров у сорта Арга, относительно сорта Красноярская универсальная, проявившаяся при таком методе расчета может говорить о большей толщине листовой пластины у короткостебельного сорта Арга.



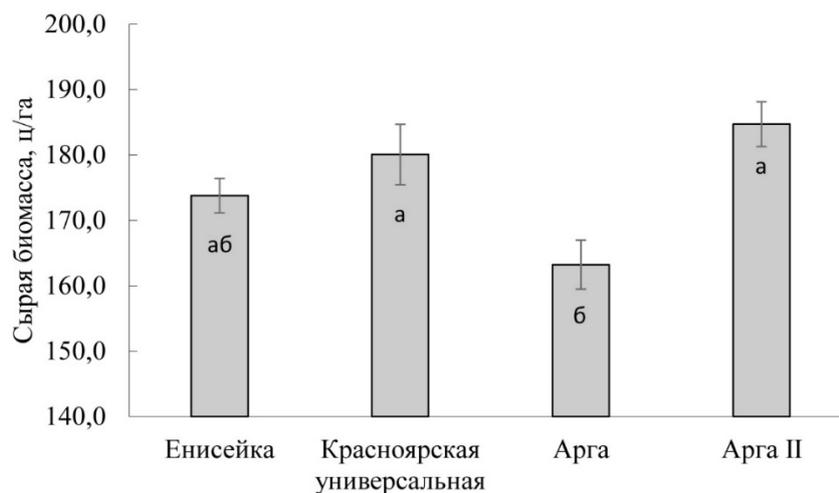
**Рисунок 3.** Содержание пигментов в органах различных сортов ржи в пересчёте на площадь фотосинтезирующей поверхности (среднее±ст.ош.). Одинаковыми буквами отмечены значения для сорта, не отличающиеся достоверно при  $p < 0,05$ .

При анализе содержания каротиноидов в сырой биомассе тканей ржи не было выявлено различий между сортами по их уровню на грамм массы. Дисперсионный анализ содержания каротиноидов в пересчёте на площадь поверхности листа показал достоверное превышение у сорта Арга в сравнении с сортом Енисейка (рисунок 4). Каротиноиды являются активными участниками процесса фотосинтеза [6]. Они отвечают за стабильность фотосистем (укрепление структуры мембраны тилакоида), повышение эффективности поглощения света антенными комплексами, выполняют фотозащитную и антиоксидантную функцию.



**Рисунок 4.** Содержание пигментов в органах различных сортов ржи в пересчёте на площадь фотосинтезирующей поверхности. (среднее±ст.ош.) Одинаковыми буквами отмечены значения для сорта, не отличающиеся достоверно при  $p < 0,05$ .

Тенденция к снижению уровня каротиноидов, *ХлА* в стебле у сорта Арга по сравнению с другими сортами связана, вероятно, с более ранней фазой развития, малым развитием стебля как фотосинтезирующего органа. Биомасса в этой фазе у сорта Арга статистически значимо меньше, чем у Красноярской универсальной (рисунок 5), в то время как второй укос в фазу «выход в трубку-колошение» спустя неделю имел большую биомассу (Арга II).



**Рисунок 5.** Накопленная сырая биомасса растений к фазе «выход в трубку» (Арга) и «выход в трубку-колошение» (Енисейка, Красноярская универсальная, АргаII) (среднее±ст.ош.) Одинаковыми буквами отмечены значения для сорта, не отличающиеся достоверно при  $p < 0,05$ .

При этом более высокие уровни пигментов у сортов Арга и Красноярская универсальная согласуются с тенденцией к более высокой биомассе в сравнении со стандартным сортом Енисейка. В целом наблюдалась тенденция к увеличению как биомассы, так и содержания пигментов в расчёте на единицу площади в ряду Енисейка>Красноярская универсальная>Арга. В этой последовательности максимальную высоту растений имеет Енисейка, минимальну – Арга. В отношении стебля увеличение содержания пигментов со снижением высоты видны только для Енисейки и Красноярской универсальной. Отсутствие продолжения линии тренда для Арги связано со слабым развитием стебля к этому моменту.

Однако по урожайности зерна сорта не различались – Енисейка 4,30 т/га, Красноярская универсальная – 4,24 т/га, Арга – 4,26 т/га (НСР<sub>05</sub> – 2,2 т/га). Связи с содержанием пигментов фотосинтеза на этапах закладки колоса не выявлено.

## 5. Выводы

Оба сорта селекции КрасНИИСХ Арга и Красноярская универсальная имели более высокое содержание пигментов фотосинтеза в сравнении со стандартом по региону, сортом Енисейка.

Не выявлено признаков связи высоты стебля и особенностей накопления хлорофиллов при расчёте их содержания на единицу сырого веса, а также их соотношения.

При учёте содержания пигментов в единице площади фотосинтезирующего органа отмечены тенденции к увеличению уровней хлорофиллов в ряду Енисейка>Красноярская универсальная>Арга параллельно снижению высоты растений, согласующиеся с аналогичной тенденцией в отношении надземной биомассы в фазу «выход в трубку - колошение».

Требуется более детальное изучение содержания пигментов фотосинтеза у исследуемых сортов озимой ржи в различные фазы онтогенеза для подтверждения обнаруженных закономерностей.

## Список литературы

1. Пономарев, С.Н. Фотосинтетические особенности сортов озимой ржи с различным контролем короткостебельности / С.Н. Пономарев, М.Л. Пономарева // Земледелие. – 2017. – № 7. – С. 36-40.

2. Тороп, А.А. Особенности продукционного процесса стародавнего и современного сортов озимой ржи / А.А. Тороп, В.В. Чайкин, Е.А. Тороп [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 6. – С. 15-19.
3. Jin, H. Optimization of light-harvesting pigment improves photosynthetic efficiency / H. Jin, M. Li, S. Duan et al. // Plant Physiology. – 2016. – Vol. 172. – P. 1720–1731.
4. Lichtenthaler, H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes / H.K. Lichtenthaler // Methods in Enzymology. – 1987. – Vol. 148. – P. 350—382.
5. Амунова, О.С. Влияние различных условий увлажнения на пигментный комплекс листьев сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости / О.С. Амунова, Е.М. Лисицын // Самарский научный вестник. – 2019. – №3 – С. 19—25.
6. Маслова, Т.Г. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) / Т.Г. Маслова, Е.Ф. Марковская, Н.Н. Слемнев // Журнал общей биологии. – 2020. – №4. – С. 297–310.