

Научная статья/Research Article

УДК 633.264:631.527: 581.132

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-58-70

Елена Владимировна Думачева^{1✉}, Владимир Иванович Чернявских²,
Елена Владимировна Усольцева³, Александр Юрьевич Печегин⁴,
Юлия Валентиновна Печегина⁵

^{1,2,3,4,5}ФНЦ ВИК им. В.Р. Вильямса, Лобня, Московская область, Россия

¹dumacheva63@mail.ru

²cherniavskih@mail.ru

^{3,4,5}laboratory_ph@mail.ru

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОРТОВ И СЕЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ОВСЯНИЦЫ КРАСНОЙ

Цель исследования – изучить сопряженные морфологические и фотобиологические особенности сортообразцов овсяницы красной (*Festuca rubra* L.) в коллекционном питомнике и выявить источники селекционных признаков для создания новых сортов. Исследования проводили в 2023–2024 гг. на базе Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса. Почва дерново-подзолистая, гумус – 2,1–2,3 %; pH KCl – 5,3; P₂O₅ и K₂O (по Курсанову) – 152,0 и 93,0 мг/кг соответственно. Питомник заложен без повторностей с размещением стандартов – сортов Искринка и ВИК 16 через каждые 5 селекционных номеров. Изучали 37 сортообразцов различного эколого-географического происхождения. Стандарты – сорта Искринка (газонного) и ВИК 16 (кормового использования). Зависимость параметров газообмена от концентрации углекислого газа (CO₂) и фотосинтетически активной радиации (ФАР) изучали с использованием портативного газоанализатора LI COR 6800 при интенсивности ФАР от 0 до 1500 μМ/(м²·с). В результате кластеризации по основным морфо-биологическим признакам сортообразцы распределились на 2 кластера: кластер I (26 сортообразцов) – с узкими и короткими листьями, низкорослые, с урожайностью зеленой массы 1,19 кг/м², урожайностью семян 57,5 г/м²; интенсивностью фотосинтеза 5,71 μМ CO₂/(м²·с), транспирации – 7,77 мМ H₂O/(м²·с); лучшие номера (3/6, 3/36, 3/37), наряду с сортами Искринка, Гостенка и Везелка, могут использоваться в качестве источников селекционных признаков при создании сортов газонного направления; кластер II (11 сортообразцов) – высокорослые, с крупными широкими листьями; высокой урожайностью фитомассы – 1,99 кг/м², семян – 71,7 г/м²; интенсивностью фотосинтеза 13,18 μМ CO₂/(м²·с), транспирации – 14,14 мМ H₂O/(м²·с); сортообразцы 3/4, 3/13, 3/29 и сорт ВИК 16 могут использоваться в качестве источников селекционных признаков при создании сортов кормового направления. Фактор «генотип сортообразца» достоверно влияет на проявление основных результирующих признаков с силой 7,5–35,8 %, фактор освещенности – 22,4–52,6 %.

Ключевые слова: урожайность зеленой массы, урожайность семян, интенсивность фотосинтеза, транспирация, световые кривые, дисперсионный анализ, кластерный анализ

Для цитирования: Думачева Е.В., Чернявских В.И., Усольцева Е.В., и др. Морфологические и фотобиологические особенности сортов и селекционных образцов овсяницы красной // Вестник КрасГАУ. 2025. № 10. С. 58–70. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-58-70.

Финансирование: исследования выполнены в рамках Госзадания FGGW-2025-0007 «Разработка морфофизиологических принципов повышения эффективности интродукции, создания исходного материала и селекции растений, оценка сопряженности процессов фотосинтеза, дыхания, транспирации с продуктивностью и урожайностью».

Elena Vladimirovna Dumacheva^{1✉}, Vladimir Ivanovich Cherniavskih²,

Elena Vladimirovna Usoltseva³, Alexander Yurievich Pechegin⁴, Yulia Valentinovna Pechegina⁵

^{1,2,3,4,5}Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Lobnya, Moscow Region, Russia

¹dumacheva63@mail.ru

²cherniavskih@mail.ru

^{3,4,5}laboratory_ph@mail.ru

MORPHOLOGICAL AND PHOTOBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF RED FESCUE VARIETIES AND SELECTION SAMPLES

*The aim of the study is to investigate the associated morphological and photobiological features of red fescue (*Festuca rubra* L.) accessions in a collection nursery and to identify the sources of breeding traits for creating new varieties. The studies were conducted in 2023–2024 at the V.R. Williams Federal Scientific Center for Forage Production and Agroecology. The soil was sod-podzolic, humus – 2,1–2,3 %; pH KCl – 5,3; P₂O₅ and K₂O (according to Kirsanov) – 152.0 and 93.0 mg/kg, respectively. The nursery was established without replicates with the placement of standards – Iskrinka and VIK 16 varieties – every 5 breeding numbers. A total of 37 variety accessions of different ecological and geographical origin were studied. The standards were Iskrinka (lawn) and VIK 16 (forage) varieties. The dependence of gas exchange parameters on the concentration of carbon dioxide (CO₂) and photosynthetically active radiation (PAR) was studied using a portable gas analyzer LI COR 6800 at PAR intensity from 0 to 1500 μM/(m²·s). As a result of clustering by the main morpho-biological characteristics, the variety accessions were divided into 2 clusters: cluster I (26 variety accessions) – with narrow and short leaves, low-growing, with a green mass yield of 1.19 kg/m², seed yield of 57.5 g/m²; photosynthesis intensity of 5.71 μM CO₂/(m²·s), transpiration – 7.77 mM H₂O/(m²·s); the best numbers (3/6, 3/36, 3/37), along with the Iskrinka, Gostenka and Vezelka varieties, can be used as sources of selection traits in the creation of lawn varieties; cluster II (11 variety accessions) – tall, with large wide leaves; high phytomass yield – 1.99 kg/m², seeds – 71.7 g/m²; photosynthetic intensity of 13.18 μM CO₂/(m²·s), transpiration – 14.14 mM CO₂/(m²·s); variety accessions 3/4, 3/13, 3/29 and variety VIK 16 can be used as sources of selection traits in the creation of forage varieties. The “variety accession genotype” factor reliably influences the manifestation of the main resulting traits with a strength of 7.5–35.8 %, the illumination factor – 22.4–52.6 %.*

Keywords: green mass yield, seed yield, photosynthesis rate, transpiration, light curves, analysis of variance, cluster analysis.

For citation: Dumacheva EV, Cherniavskih VI, Usoltseva EV, et al. Morphological and photobiological characteristics of red fescue varieties and selection samples. *Bulletin of KSAU*. 2025;(10):58-70. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-58-70.

Funding: research was conducted under State Contract FGGW-2025-0007 "Development of morphophysiological principles for increasing the efficiency of plant introduction, creation of source material, and selection, and assessment of the relationship between photosynthesis, respiration, and transpiration processes and productivity and yield".

Введение. Современные селекционные программы по созданию новых сортов сельскохозяйственных культур одним из основных требований содержат положение об ускорении и оптимизации процессов не только получения исходного материала, но и совершенствования методов его оценки [1]. Изучение состояния фотосинтетического аппарата растений является одним из важнейших факторов повышения эффективности селекционного процесса, а использование современных методов изучения фото-

биологических процессов позволяет в реальном режиме времени комплексно оценить разнообразный селекционный материал [2].

Анализ скорости ассимиляции CO₂, транспирации, параметров устьичного аппарата и других показателей дает селекционерам возможность провести углубленный анализ физиологического статуса растений и выявить источники хозяйственно ценных признаков и свойств для создания новых сортов [3].

Сопряженность морфологических и физиологических процессов убедительно показана в исследованиях, проведенных на ряде сельскохозяйственных культур. Получена информация о показателях газообмена, биохимических и морфобиологических особенностях растений, а также разработаны принципы отбора селекционных образцов в качестве источников ценных хозяйственно-полезных признаков и свойств у сои, гречихи, озимой пшеницы и др. [2, 4].

Однако каждая сельскохозяйственная культура требует индивидуального подхода, верификации используемых методов, прежде чем они будут масштабированы и применены при анализе большого массива селекционных данных. Это в полной мере относится к овсянице красной – ценной культуре, имеющей многоцелевое значение. Как кормовая культура овсяница красная имеет продуктивность сухого вещества на уровне 9–12 т/га, содержание протеина – 15,0–18,0 %, жира – 3,3–4,0 %, клетчатки – 24,5–29,0 %. Как газонная трава обладает низкорослостью, высокой декоративностью, скоростью отрастания, устойчивостью к скашиванию и вытаптыванию [5].

В соответствии с этим сорта овсяницы красной кормового направления обладают высокой урожайностью зеленой массы и сухого вещества высокого кормового достоинства, способностью быстро отрастать после укосов, имеют широкие длинные листья, высокие стебли, формируют большое количество продуктивных стеблей и т. д. Сорта овсяницы красной газонного использования отличаются узкими и более короткими листьями, низкой надземной продуктивностью, имеют невысокую скорость роста, высокую кустистость и способность формировать корневища. Общим требованием к сортам как кормового, так и газонного направления является высокая семенная продуктивность [1, 5–7].

При создании новых сортов овсяницы красной различного назначения широко используют методы гибридизации, экологической и фитоценотической селекции [1]. Определенные успехи достигнуты в результате включения в селекционную проработку образцов овсяницы красной, полученных в результате биотипического отбора дикорастущих форм в условиях мелового юга Среднерусской возвышенности. Уникальные условия региона, включающие наличие мелового субстрата, высокую инсоляцию, низкую оводненность, изрезанность территории, спо-

собствуют, по мнению ученых, протеканию микроэволюционных процессов у синантропных видов растений. На основе дикорастущих образцов, отобранных в этих условиях, создан ряд сортов овсяницы красной газонного направления использования: Гостенка, Искринка, Везелка [6, 7].

Однако методы физиологии растений, особенно фотобиологии, которые уже нашли свое применение в селекции ряда других культур, в работе с овсяницей красной используются слабо. Имеются отдельные исследования в области изучения устойчивости фотосинтетического аппарата к отдельным био- и абиотическим стрессорам (затенению, засухе, прорастанию под покровом других злаковых культур), а также сортовых особенностей фотосинтеза [8–10].

Цель исследования – изучить сопряженные морфологические и фотобиологические особенности сортообразцов овсяницы красной в коллекционном питомнике и выявить источники селекционных признаков для создания новых сортов.

Задачи: изучить основные морфобиологические признаки сортов и селекционных образцов овсяницы красной различного эколого-географического происхождения; провести кластерный анализ и выявить сортообразцы, обладающие максимальным сходством по комплексу изученных признаков; изучить показатели фотосинтеза и водообмена у сортов и селекционных образцов овсяницы красной; выявить лучшие сортообразцы, которые могут быть использованы в качестве источников ценных морфологических и фотобиологических признаков и свойств для селекции сортов овсяницы красной газонного или кормового направления.

Объекты и методы. Изучение овсяницы красной проводили в коллекционном питомнике лаборатории физиологии сельскохозяйственных растений ФГБНУ «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса» (Московская обл., г. Лобня, мкр. Луговая), заложенном в 2022 г. Предшественник – чистый пар. Образцы высевали на делянках длиной 3 м, проводили закладку без повторностей с размещением стандартов – Искринка (сорт газонного направления) и ВИК 16 (сорт кормового направления) через каждые 5 селекционных номеров. Исследования проводили в 2023–2024 гг. Почва участка дерново-подзолистая, гумус – 2,1–2,3 %; pH_{KCl} – 5,3; P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову) – 152,0 и 93,0 мг/кг соответственно. Среднегодовое количество осадков – 341 мм (при t воздуха > 10 °C), температура воз-

духа в среднем – 14,4 °С. Погодные условия проведения исследований существенно не отличались от среднесезонных. Обработку почвы, уход за посевами проводили в соответствии с методиками [11, 12]. Учет урожайности зеленой массы проводили 5 раз в течение вегетации путем скашивания растений на делянке газонокосилкой на высоту среза 5 см с последующим взвешиванием. Для оценки урожайности растения на делянке срезали, обмолачивали, семена доводили до стандартной чистоты и взвешивали. Площадь учетной делянки при учете урожайности семян и зеленой массы – 1 м². Оценку основных морфобиологических селекционных признаков и свойств, включая бальную оценку кустистости, окраса листьев, беловатого налета на листьях, образования корневищ и других, проводили в соответствии с методикой отличимости, однородности и стабильности для *Festuca rubra* L. [13].

В исследования были включены 37 сортообразцов овсяницы красной различного эколого-географического происхождения, в т. ч. 6 сортов и 31 селекционный образец. Селекционные образцы были получены в результате биотипического отбора, проведенного в 2020–2021 гг. в дикорастущих популяциях различных районов Белгородской области на участках меловых обнажений и в поймах рек:

- 1 – 3/1 – Искринка (сорт газонного направления) – стандарт 1;
- 2 – 3/2 – ВИК 16 (сорт кормового направления) – стандарт 2;
- 3 – 3/3 (меловое обнажение (МО), Валуйский р-н; 50.287426, 38.311576);
- 4 – 3/4 (пойма (П), р. Герасим, Старооскольский р-н, 51.422264, 37.831034);
- 5 – 3/5 (П, р. Везелка, Белгородский р-н, 50.623947, 36.385723);
- 6 – 3/6 (МО, Волоконовский р-н, 50.422982, 37.808736);
- 7 – 3/7 (П, р. Убля, г. Старый Оскол, 51.275268, 37.896118);
- 8 – 3/8 (МО, Валуйский р-н, 50.287775, 38.309960);
- 9 – 3/9 (П, р. Оскол, урочище Щербаки, Новооскольский р-н, 50.834416, 37.773928);
- 10 – 3/10 (П, р. Тихая Сосна, Алексеевский городской округ, 50.659589, 38.806851);
- 11 – 3/11 (МО, с. Красный хуторок, Алексеевский городской округ, 50.639027, 38.668646);
- 12 – 3/12 (П, р. Тихая Сосна, Алексеевский городской округ, 50.660513, 38.803275);

- 13 – 3/13 (П, р. Убля, г. Старый Оскол, 51.335979, 38.024964);
 - 14 – 3/14 (МО, Белгород, 50.614901, 36.614465);
 - 15 – 3/15 – Везелка (сорт газонного направления);
 - 16 – 3/16 – Гостенка (сорт газонного направления);
 - 17 – 3/17 (МО, с. Красный хуторок, Алексеевский городской округ, 50.639027, 38.668646);
 - 18 – 3/18 (МО, Белгород, 50.631852, 36.524155);
 - 19 – 3/19 (МО, Белгород, 50.631852, 36.524155);
 - 20 – 3/20 (МО, Белгород, 50.613027, 36.614435);
 - 21 – 3/21 (П, р. Ураева, Вейделевский р-н, 50.101991, 38.230184);
 - 22 – 3/22 (МО, Белгород, 50.610993, 36.604319);
 - 23 – 3/23 (МО, с. Ржевка, Шебекинский р-н, 50.426153, 36.964925);
 - 24 – 3/24 (П, р. Палатовка, Красногвардейский р-н, 50.285183, 38.261627);
 - 25 – 3/25 (МО, Волоконовский р-н, 50.451223, 37.737436);
 - 26 – 3/26 (МО, Белгород, 50.609156, 36.611903);
 - 27 – 3/27 (МО, Белгород, 50.631088, 36.526032);
 - 28 – 3/28 (МО, Белгород, 50.632287, 36.518232);
 - 29 – 3/29 (П, р. Нежеголь, Шебекинский р-н, 50.423352, 37.055502);
 - 30 – 3/30 – Гондолин (сорт газонного направления);
 - 31 – 3/31 – Росинант (сорт газонного направления);
 - 32 – 3/32 (МО, с. Варваровка, Алексеевский р-н, 50.359822, 38.907184);
 - 33 – 3/33 (П, р. Оскол, пос. Волоконовка, 51.052399, 37.839794);
 - 34 – 3/34 (П, р. Оскол, Чернянский р-н, 50.960468, 37.794317);
 - 35 – 3/35 (П, р. Манджуха, Волоконовский р-н, 50.450487, 37.738534);
 - 36 – 3/36 (П, р. Манджуха, Волоконовский р-н, 50.455300, 37.735055);
 - 37 – 3/37 (П, р. Манджуха, Волоконовский р-н, 50.458161, 37.733772).
- Оценку показателей фотосинтеза и водообмена проводили с использованием автоматизи-

рованной системы LI-6800 (LI-COR, США), которая измеряет поглощение углекислого газа (CO_2) и выделение водяных паров (H_2O) листьями с помощью высокоточных инфракрасных газоанализаторов. Зависимость параметров газообмена от концентрации CO_2 и интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) в камере прибора исследовали при концентрации CO_2 400 $\mu\text{M}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$; интенсивности ФАР – от 0 до 1500 $\mu\text{M}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$. Температура в листовой камере поддерживалась на уровне 24–26 °С. Измерения проводили в ясную безветренную погоду. Повторность измерений – трехкратная. Методика проведения исследований на приборе LI-6800 подробно описана в статьях [14, 15].

Статистический анализ результатов полевых и лабораторных опытов проводили с помощью

пакета прикладных программ MS Excel. Для оценки морфологических и физиологических признаков использовали методы кластерного и дисперсионного анализа [16, 17].

Кластеризация является одним из эффективных инструментов, позволяющих эффективно распределить сорта и селекционные образцы овсяницы красной по однородным элементам, отражающим особенности взаимодействия основных параметров кормовой, семенной продуктивности [5]. В наших исследованиях в результате комплексной оценки основных селекционных признаков и свойств овсяницы красной селекционные образцы и сорта распределились на 2 кластера, объединивших в своем составе сортообразцы, обладающие максимальным сходством по комплексу изученных признаков (рис. 1).

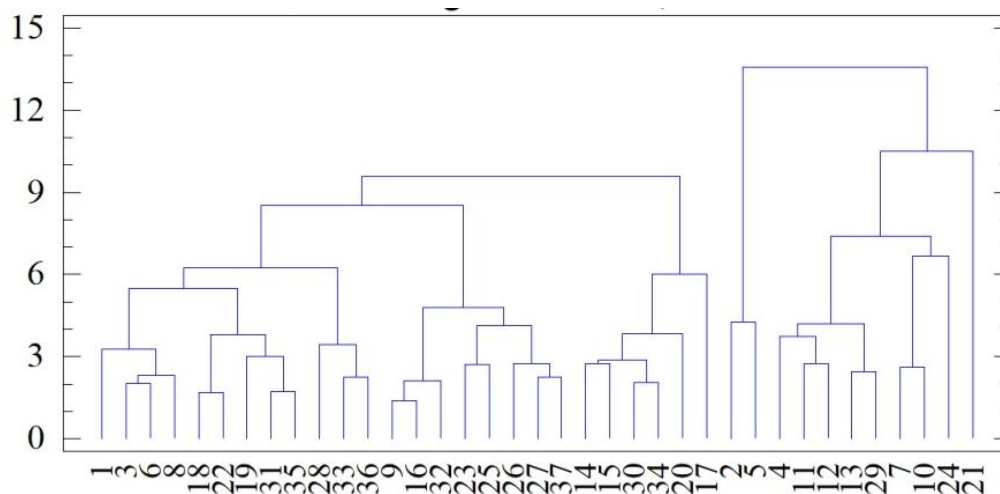


Рис. 1. Результаты кластерного анализа, отражающие сходство изученных сортов и селекционных образцов овсяницы красной

(по оси абсцисс – евклидово расстояние; по оси ординат – сортообразцы):

кластер I: 1 – 3/1 – Искринка, стандарт 1; 3 – 3/3 (МО); 6 – 3/6 (МО); 8 – 3/8 (МО); 18 – 3/18 (МО); 22 – 3/22 (МО); 19 – 3/19 (МО); 31 – 3/31 – Росинант (сорт); 35 – 3/35 (П); 28 – 3/28 (МО); 33 – 3/33 (П); 36 – 3/36 (П); 9 – 3/9 (П); 16 – 3/16 – Гостенка (сорт); 32 – 3/32 (МО); 23 – 3/23 (МО); 25 – 3/25 (МО); 26 – 3/26 (МО); 27 – 3/27 (МО); 37 – 3/37 (П); 14 – 3/14 (МО); 15 – 3/15 – Везелка (сорт); 30 – 3/30 – Гондолин (сорт); 34 – 3/34 (П); 20 – 3/20 (МО); 17 – 3/17 (МО); кластер II: 2 – 3/2 – ВИК 16 – стандарт 2; 5 – 3/5 (П); 4 – 3/4 (П); 11 – 3/11 (МО); 12 – 3/12 (П); 13 – 3/13 (П); 29 – 3/29 (П); 7 – 3/7 (П); 10 – 3/10 (П); 24 – 3/24 (П); 21 – 3/21 (П)

The results of cluster analysis reflecting the similarity of the studied varieties and selection samples of red fescue (abscissa axis – Euclidean distance; ordinate axis – variety samples):

I: 1 – 3/1 – Iskrinka, standard 1; 3 – 3/3 (CO – chalk outcrop); 6 – 3/6 (CO); 8 – 3/8 (CO); 18 – 3/18 (CO); 22 – 3/22 (CO); 19 – 3/19 (CO); 31 – 3/31 – Rosinant (variety); 35 – 3/35 (F – floodplain); 28 – 3/28 (CO); 33 – 3/33 (F); 36 – 3/36 (F); 9 – 3/9 (F); 16 – 3/16 – Gostenka (variety); 32 – 3/32 (CO); 23 – 3/23 (CO); 25 – 3/25 (CO); 26 – 3/26 (CO); 27 – 3/27 (CO); 37 – 3/37 (F); 14 – 3/14 (CO); 15 – 3/15 – Vezelka (variety); 30 – 3/30 – Gondolin (variety); 34 – 3/34 (F); 20 – 3/20 (CO); 17 – 3/17 (CO); Cluster II: 2 – 3/2 – VIK 16 – standard 2; 5 – 3/5 (F); 4 – 3/4 (F); 11 – 3/11 (CO); 12 – 3/12 (F); 13 – 3/13 (F); 29 – 3/29 (F); 7 – 3/7 (F); 10 – 3/10 (F); 24 – 3/24 (PF); 21 – 3/21 (F)

Кластерный анализ позволил выявить разграничение сортов и селекционных образцов по принципу их экологического и географического происхождения. В I кластер вошли 26 образцов: 5 сортов газонного направления использования, в т. ч. сорт Искринка – стандарт, и 21 селекционный образец, из которых 15 (71,0 %) были отобраны на участках меловых обнажений различ-

ных районов Белгородской области, а также в Белгороде. Во II кластер вошли 11 образцов: один сорт (ВИК 16, стандарт) и 10 селекционных номеров, из которых 9 (81,0 %) были отобраны в поймах рек. Каждый из кластеров характеризуется определенной совокупностью признаков и свойств, отражающих основные показатели формирования надземной фитомассы (табл. 1).

Таблица 1

Морфологические признаки, связанные с формированием надземной фитомассы у селекционных образцов овсяницы красной, входящих в различные кластеры (в среднем 2023–2024 гг.)

Morphological features associated with the formation of aboveground phytomass in red fescue selection samples included in various clusters (on average 2023–2024)

Признак	Кластер	M±m	Cv, %	Пределы варьирования
Кустистость, балл	I	5,09±1,1	30,2	1,0–7,0
	II	4,94±1,4	27,7	2,0–7,0
Ширина листа, см	I	2,19±0,7	23,2	1,59–3,74
	II	3,66±0,7	45,6	2,84–3,95
Длина листа, см	I	33,7±5,2	23,7	21,0–44,7
	II	41,08±3,4	33,6	20,1–48,9
Окрас листьев, балл	I	0,94±0,18	42,5	0,77–1,38
	II	1,06±0,31	32,4	0,31–1,54
Беловатый налет на листьях, балл	I	1,05±0,32	34,2	0,49–1,46
	II	0,92±0,50	60,4	0,16–1,46
Высота стеблей, см	I	66,8±7,8	12,8	43,2–89,8
	II	82,9±8,1	13,6	76,8–97,2
Урожайность зеленой массы, кг/м ²	I	1,19±0,3	26,5	0,99–1,73
	II	1,99±0,4	29,9	1,41–2,31
Образование корневищ, балл	I	2,14±0,8	36,7	1,0–3,0
	II	2,73±0,9	44,6	1,0–3,0

Примечание: М – среднее; m – ошибка средней; Cv – коэффициент вариации.

Ранжирование по средней величине выраженности отдельных признаков показало, что по ширине листьев осенью в год посева растения сортообразцов из кластера II существенно превосходят кластер I – на 67,1 %; по высоте стеблей – на 24,1 %; по урожайности зеленой массы – на 67,2 %. По степени проявления признаков кустистости, длины листьев в год посева, окраса в год посева, наличия беловатого налета и способности к образованию корневищ существенных различий между сортообразцами, относящимися к отдельным кластерам, не выявлено (коэффициент варьирования признака Cv = 13,6–60,4 %).

Среди сортообразцов кластера I выделились номера 3/3, 3/6, 3/15, 3/16, 3/33, которые по ряду признаков не уступили стандарту 1 – сорту Искринка газонного направления использования –

и имели кустистость на уровне 6–7 баллов, ширину листьев 1,59–1,98 см, длину 21,6–29,8 см, высоту стеблей 55,4–61,7 см, а по урожайности зеленой массы были на 24,6–48,7 % ниже стандарта 2 – сорта ВИК 16. Среди сортообразцов кластера II лучшими были номера 3/4, 3/12, 3/13, 3/24, которые превысили стандарт 2 – сорт ВИК 16 – по высоте на 14,8–22,4 %, а по урожайности зеленой массы – на 12,8–34,2 %. Анализ элементов семенной продуктивности у селекционных образцов овсяницы красной, входящих в различные кластеры, позволил установить, что растения сортообразцов из кластера II существенно превосходят сортообразцы из кластера I по количеству продуктивных стеблей – на 16,0 %, а также по урожайности семян – на 24,7 % (Cv = 24,1–68,8 %) (табл. 2).

Особенности формирования элементов семенной продуктивности селекционных образцов овсяницы красной, входящих в различные кластеры (в среднем 2023–2024 гг.)
Features of the formation of seed productivity elements in red fescue breeding samples included in various clusters (on average 2023–2024)

Признак	Кластер	M±m	Cv, %	Пределы варьирования
Количество продуктивных стеблей, шт/м ²	I	342,6±21,1	42,5	128,1–433,6
	II	397,5±18,9	67,4	145,9–499,1
Количество семян в 1 метелке, шт.	I	137,8±9,7	33,1	128,2–141,5
	II	141,5±11,5	46,4	130,5–146,4
Масса 1000 семян, г	I	1,15±0,07	68,8	0,97–1,23
	II	1,17±0,06	37,6	0,95–1,27
Семенная продуктивность, г/1 растение	I	5,16±0,6	24,1	1,81–5,89
	II	5,41±0,5	29,1	2,90–5,83
Урожайность семян, г/м ²	I	57,5±6,8	31,9	21,6–99,8
	II	71,7±7,3	28,4	56,3–92,3

Примечание: M – среднее, m – ошибка средней, Cv – коэффициент вариации.

По остальным показателям существенных различий между сортообразцами, входящими в различные кластеры, не выявлено.

Среди сортообразцов кластера I по семенной продуктивности выделились номера 3/3, 3/6, 3/15, 3/16, 3/35, 3/36, 3/37, которые превысили сорт Искринка по урожайности семян в среднем на 22,8–35,7 %, не уступив по этому показателю сорту ВИК 16. Среди сортообразцов кластера II лучшими были номера 3/4, 3/13, 3/21, 3/29, которые превысили сорт ВИК 16 по урожайности семян на 19,6–27,1 %. Анализ световых кривых фотосинтеза у селекционных образцов овсяницы красной, относящихся к различным кластерам, показал, что в условиях отсутствия и недостатка света (ФАР = 0–300 $\mu\text{M}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$) существенных различий по интенсивности ассимиляции CO_2 не наблюдалось: интенсивность фотосинтеза увеличивалась от 0,02 до 4,32 $\mu\text{M CO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ у образцов кластера I, от 0,08 до 4,17 $\mu\text{M CO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ – у образцов кластера II (Cv = 35,8–68,8 %) (рис. 2, А).

По мере нарастания интенсивности ФАР до 600–1200 $\mu\text{M}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ скорость ассимиляции CO_2 также возрастала: от 3,23 до 5,71 $\mu\text{M CO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ у образцов кластера I, от 8,60 до 13,18 $\mu\text{M CO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ – кластера II (Cv = 46,4–85,1 %). При этом сортообразцы, входящие в кластер II, существенно превосходили по интенсивности фотосинтеза образцы из кластера I – на 130,7–295,2 %.

При максимальной величине ФАР 1500 $\mu\text{M}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ отмечено некоторое снижение скорости ассимиляции CO_2 у растений из кластера I до 4,15 $\mu\text{M CO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, кластера II – до 12,68 μM

$\text{CO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$. Полученные данные указывают на то, что световое насыщение у всех изученных селекционных образцов наступило при величине ФАР 1200 $\mu\text{M}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$.

Среди сортообразцов кластера I по интенсивности ассимиляции CO_2 лучшими были сортообразцы 3/6, 3/16, 3/36, 3/37, которые превысили сорт Искринка в среднем на 21,8–31,6 %. Среди сортообразцов кластера II выделились номера 3/4, 3/13, 3/29, которые по скорости фотосинтеза превысили сорт ВИК 16 на 33,4–41,3 %.

Проведенная нами оценка межклеточной концентрации CO_2 не выявила существенных различий между растениями из различных кластеров, что указывает на достаточно высокий адаптационный потенциал изученных сортообразцов (рис. 2, Б). Показатель последовательно снижался с 399,56 до 327,39 $\mu\text{M}/\text{M}$ по мере нарастания интенсивности ФАР с 0 до 1200 $\mu\text{M}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ у сортообразцов кластера I и с 389,44 до 319,78 $\mu\text{M}/\text{M}$ у кластера II. Однако по мере усиления освещенности до 1500 $\mu\text{M}/\text{м}^2\cdot\text{с}$ отмечена тенденция повышения концентрации межклеточного CO_2 до 351,52 $\mu\text{M}/\text{M}$ у сортообразцов кластера I и до 351,52 $\mu\text{M}/\text{M}$ у кластера II.

Тесно связанные с фотосинтезом процессы водообмена изучали, оценивая интенсивность транспирации, характеризующей скорость испарения воды (H_2O) растениями (рис. 2, В). В результате проведенной сравнительной оценки у селекционных номеров овсяницы из различных кластеров установлены существенные различия по скорости транспирации в зависимости от интенсивности ФАР. У растений, входящих в кластер II, интенсивность транспирации была в

среднем выше на 78,4–114,1 %, чем у селекционных образцов из кластера I.

Сравнительный анализ данных по интенсивности транспирации показал, что среди сортообразцов кластера I не установлено существенных отличий со стандартом 1 – сортом Искринка 1 у сортообразцов 3/6, 3/16, 3/21, 3/26, 3/27, 3/36, 3/37. А среди сортообразцов кластера II превысили по скорости транспирации стандарт 1 – сорт ВИК 16 – на 25,4–39,6 % номера 3/4, 3/13, 3/10, 3/11, 3/29.

Устьичная проводимость для водяных паров, которая характеризуется показателем «устьичное сопротивление H_2O », является одним из важных регуляторных механизмов водного обмена и ассимиляции CO_2 . Во многом благодаря механизму регуляции газообмена, осуществ-

ляемому устьичным аппаратом, растения выполняют свои биосферные функции, участвуя в круговоротах углерода и воды.

В наших исследованиях у растений овсяницы красной, входящих в кластер II, устьичное сопротивление парам H_2O по мере увеличения ФАР возрастало с 0,29 до 0,44 $M/(m^2 \cdot c)$ и было существенно выше, чем у растений из кластера I, у которых показатель увеличивался в пределах 0,13–1,23 $M/(m^2 \cdot c)$. В среднем разница между сортообразцами, входящими в различные кластеры, составила 86,3–126,8 %.

Анализ тренда световых кривых параметров, характеризующих динамику основных показателей фотосинтеза и транспирации, позволил рассчитать уравнения регрессии (табл. 3).

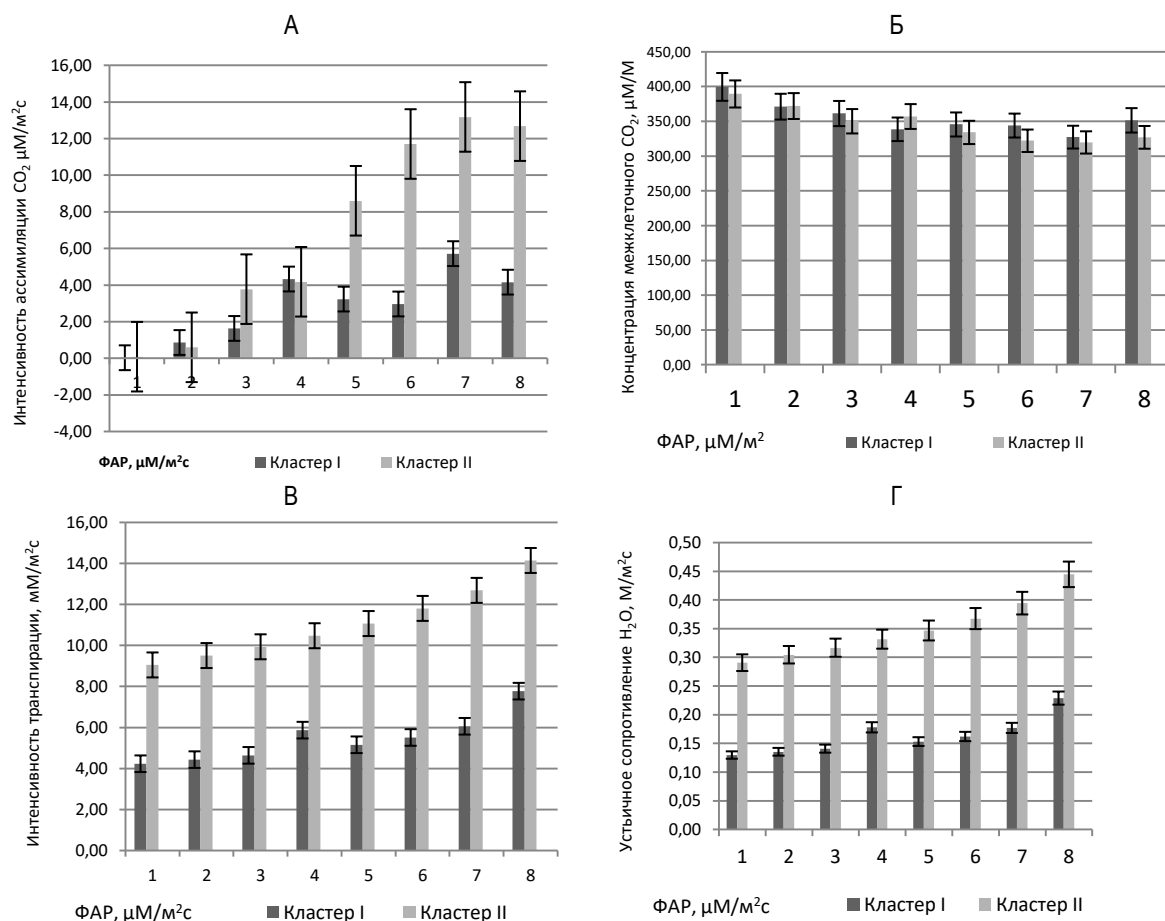


Рис. 2. Интенсивность основных фотобиологических процессов у селекционных образцов овсяницы красной, входящих в различные кластеры в зависимости от интенсивности ФАР: интенсивность ассимиляции CO_2 (А), $\mu M CO_2/(m^2 \cdot c)$; концентрация межклеточного CO_2 (Б), $\mu M/M$; интенсивность транспирации (В), $mM H_2O/(m^2 \cdot c)$; устьичное сопротивление H_2O (Г), $M/(m^2 \cdot c)$; по оси абсцисс – интенсивность ФАР: 1 – 0; 2 – 50; 3 – 150; 4 – 300; 5 – 600; 6 – 900; 7 – 1200; 8 – 1500 $\mu M/(m^2 \cdot s)$

Intensity of the main photobiological processes in red fescue selection samples included in different clusters depending on the PAR intensity: CO_2 assimilation intensity (A), $\mu M CO_2/(m^2 \cdot c)$; intercellular CO_2 concentration (B), $\mu M/M$; transpiration intensity (V), $mM H_2O/(m^2 \cdot s)$; stomatal resistance H_2O (G), $M/(m^2 \cdot c)$; along the abscissa axis – PAR intensity: 1 – 0; 2 – 50; 3 – 150; 4 – 300; 5 – 600; 6 – 900; 7 – 1200; 8 – 1500 $\mu M/(m^2 \cdot s)$

Таблица 3

Уравнения регрессии, характеризующие динамику фотобиологических процессов у селекционных образцов овсяницы красной, входящих в различные кластеры в зависимости от интенсивности ФАР
Regression equations characterizing the dynamics of photobiological processes in red fescue selection samples included in different clusters depending on the PAR intensity

Признаки	Кластеры	Уравнения регрессии	Коэффициент аппроксимации, R ²
Интенсивность ассимиляции CO ₂	I	$-0,1293x^2 + 1,9265x - 2,2631$	0,9276
	II	$-0,1099x^3 + 1,4415x^2 - 3,1422x + 2,0399$	0,9836
Концентрация межклеточного CO ₂	I	$2,4925x^2 - 29,576x + 424,44$	0,9011
	II	$1,3959x^2 - 22,147x + 410,56$	0,9386
Интенсивность транспирации	I	$0,053x^2 - 0,0632x + 4,3931$	0,8357
	II	$0,0691x^2 + 0,0651x + 9,0262$	0,9949
Устьичное сопротивление H ₂ O	I	$0,001x^3 - 0,0125x^2 + 0,0511x + 0,0841$	0,8741
	II	$0,0024x^2 - 0,0013x + 0,2945$	0,9878

Коэффициенты аппроксимации (R²), которые находятся в пределах 0,8357–0,9878, указывают на достаточно высокую достоверность полученных моделей.

Обобщенная оценка фотобиологических показателей у сортов и селекционных образцов овсяницы красной, распределенных по класте-

рам, позволила провести двухфакторный дисперсионный анализ и выявить долю влияния факторов «генотип сортообразца» и «интенсивность ФАР» на проявление основных результативных признаков, характеризующих процессы фотосинтеза и транспирации (табл. 4).

Таблица 4

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показателей фотосинтеза и водообмена у селекционных образцов овсяницы красной в зависимости от интенсивности освещенности
Results of two-factor analysis of variance of photosynthesis and water exchange parameters in red fescue selection samples depending on illumination intensity

Результативный признак	Источник вариации	F _f	F _{0.05}	h ² _x
Интенсивность ассимиляции CO ₂	Варианты	4,98	1,6	71,3
	Генотип сортообразца	5,41	2,8	7,5
	Интенсивность ФАР	14,71	2,2	47,5
	Взаимодействие факторов	1,68	1,7	16,3
Концентрация межклеточного CO ₂	Варианты	4,61	1,6	69,5
	Генотип сортообразца	0,97	8,6	1,4
	Интенсивность ФАР	15,4	2,2	52,6
	Взаимодействие факторов	1,52	1,7	15,5
Интенсивность транспирации	Варианты	3,69	1,6	63,3
	Генотип сортообразца	21,4	2,8	35,5
	Интенсивность ФАР	6,83	2,2	26,4
	Взаимодействие факторов	0,11	1,9	1,4
Устьичное сопротивление H ₂ O	Варианты	3,18	1,6	59,6
	Генотип сортообразца	19,7	2,8	35,8
	Интенсивность ФАР	5,31	2,2	22,4
	Взаимодействие факторов	0,11	1,9	1,4

Примечание: F_f – фактическое значение F-критерия Фишера; F_{0.05} – табличное значение F-критерия Фишера при уровне значимости оценки 5 %; h²_x – сила влияния на результативный признак.

Установлено, что генетический фактор – генотип сортообразца достоверно с силой $h^2_x = 7,5\text{--}35,8\%$ влияет на проявление признаков: интенсивности ассимиляции CO_2 , интенсивности транспирации, устьичного сопротивления H_2O . Исключение составил признак концентрации межклеточного CO_2 . Также достоверно с силой $h^2_x = 22,4\text{--}52,6\%$ действует на параметры фотосинтеза и транспирации фактор интенсивности ФАР.

Создание сортов овсяницы красной различного направления использования (кормового или газонного) требует от селекционеров учета не только морфобиологических, но и физиологических особенностей. Именно процессы фотосинтеза, по мнению исследователей [2, 4], отражают основную направленность метаболических изменений, учет которых на начальных этапах селекционного процесса может существенно ускорить отбор нужных форм в качестве источников ценных селекционных признаков.

Поскольку свет служит основным источником энергии для фотосинтеза, он выступает в качестве важнейшего фактора окружающей среды, влияющего на развитие и выживание растений. Проведенная нами оценка процессов фотосинтеза и транспирации в условиях различной интенсивности ФАР, которые моделировали условия затенения (ФАР = $0\text{--}300\ \mu\text{M}/(\text{m}^2\cdot\text{c})$) и избыточной инсоляции (ФАР = $1200\text{--}1500\ \mu\text{M}/(\text{m}^2\cdot\text{c})$), позволила получить информацию о способности сортообразцов к адаптации и эффективному использованию энергии ФАР, которая согласуется с данными [18].

Полученные данные согласуются с рядом исследований, показавших, что отклонение условий освещенности от оптимального уровня из-за чрезмерного воздействия света и высокого светового напряжения вызывает снижение эффективности фотосинтеза. Это явление связывают как с торможением скорости работы фотосистемы II, так и с фотоповреждением хлоропластов [19, 20]. С другой стороны, низкая интенсивность света ограничивает улавливание энергии, угнетая рост и развитие растений, и при селекции газонных трав важно учитывать их способность переносить условия затенения [9, 10].

Кроме того, быстро меняющиеся условия освещения требуют от растений такой же быстрой корректировки скорости фотосинтеза [21]. Чтобы справиться со световым стрессом, растения

развили различные адаптивные механизмы для регулирования поглощения света и минимизации фотоповреждений, к которым относят формирование достаточно большого объема запасного ассимиляционного материала для биохимического этапа фотосинтеза в форме накопления CO_2 в межклеточном пространстве, что также отмечено в наших опытах.

Заключение. В результате исследований показана возможность использования данных о сопряженных морфологических и фотобиологических показателях сортообразцов овсяницы красной различного эколого-географического происхождения для выявления источников селекционных признаков и создания новых сортов кормового или газонного направления использования.

Установлено, что селекционные образцы, вошедшие в кластер I, преимущественно получены в результате биотипического отбора на меловых обнажениях Белгородской области. Наряду с отечественными сортами Гостенка, Искринка, Везелка, а также зарубежными (Росинант и Гондолин) они в среднем имеют кустистость 5,09 балла; узкие (ширина 2,19 мм) и короткие (длина – 33,7 см) листья; высоту стеблей 66,8 см, невысокую урожайность зеленой массы – $1,19\ \text{кг}/\text{m}^2$; количество продуктивных стеблей на уровне $342,6\ \text{шт}/\text{m}^2$; урожайность семян – $57,5\ \text{г}/\text{m}^2$; интенсивность фотосинтеза – $5,71\ \mu\text{M}\ \text{CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{c})$; транспирации – $7,77\ \text{mM}\ \text{H}_2\text{O}/(\text{m}^2\cdot\text{c})$. Лучшие сортообразцы: 3/6, 3/36, 3/37, наряду с сортами Искринка, Гостенка и Везелка, – могут быть использованы в качестве источников ценных признаков для селекции сортов газонного направления.

Сортообразцы из кластера II, полученные в результате отборов на пойменных участках рек, отличаются высокорослостью – 82,9 см; крупными широкими листьями (ширина – 3,66 см, длина – 41,08 см); числом продуктивных стеблей – $397,5\ \text{шт}/\text{m}^2$; семян в 1 метелке – 141,5 шт.; высокой урожайностью надземной фитомассы – $1,99\ \text{кг}/\text{m}^2$, семян – $71,7\ \text{г}/\text{m}^2$; максимальной интенсивностью фотосинтеза – $13,18\ \mu\text{M}\ \text{CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{c})$ и транспирации – $14,14\ \text{mM}\ \text{H}_2\text{O}/(\text{m}^2\cdot\text{c})$. Лучшие сортообразцы 3/4, 3/13, 3/29, так же как и сорт ВИК 16, могут быть использованы в качестве источников ценных признаков для селекции сортов кормового направления.

Список источников

1. Костенко С.И., Седова Е.Г., Думачева Е.В. Селекция кормовых культур – основа устойчивого кормопроизводства на современном этапе развития России // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 15–21. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_15.
2. Думачева Е.В., Чернявских В.И., Сайфутдинова Л.Д., и др. Перспективы использования результатов изучения фотосинтеза в селекции растений: обзор основных направлений исследований // Кормопроизводство. 2024. № 4. С. 18–29. DOI: 10.30906/1562-0417-2024-4-18-29.
3. Jin X., Zhang T., Wang L., et al. Using an Optimised Neural Architecture Search for Predicting the Quantum Yield of Photosynthesis of Winter Wheat // Biosystems Engineering. 2023. Vol. 230. P. 442–457. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2023.04.015.
4. Амелин А.В., Чекалин Е.И., Заикин В.В., и др. Интенсивность фотосинтеза листьев у растений озимой пшеницы // Вестник Курской ГСХА. 2020. № 9. С. 41–48. EDN: NUQFAJ.
5. Braun R.C., Mandal P., Nwachukwu E., et al. The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans: Thirty years later // Crop Science. 2024. Vol. 64, is. 6. P. 2909–2944. DOI: 10.1002/csc2.21383.
6. Косолапов В.М., Чернявских В.И., Маринич М.Н. Формирование элементов семенной продуктивности у сортообразцов овсяницы красной: селекционный подход // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 24–28. DOI: 10.31857/S2500262721060053.
7. Маринич М.Н., Чернявских В.И. Результаты экологического сортоиспытания овсяницы красной газонного направления в условиях Западного Кавказа и Центрально-Черноземного региона // Кормопроизводство. 2021. № 8. С. 38–42. DOI: 10.25685/krm.2021.8.2021.007.
8. Van Huylbroeck J., Lootens P., Van Bockstaele E. Photosynthetic characteristics of perennial ryegrass and red fescue turf-grass cultivars // Grass and Forage Science. 1999. Vol. 54, is. 3. P. 267–274. DOI: 10.1046/j.1365-2494.1999.00179.x.
9. Szczepanek M., Olszewski J. Effect of method and time of sowing on the growth, development, chlorophyll content and photosynthesis rate of *Festuca rubra* L. SSP. *commutata*, *trichophylla*, *rubra* grown for seeds in the year of establishment and in the first production year // Acta Scientiarum Polonorum Agricultura. 2009. Vol. 8, is. 2. P. 31–41.
10. Krueger R.W., Miles D. Photosynthesis in Fescue: I. High rate of electron transport and phosphorylation in chloroplasts of hexaploid plants // Plant Physiol. 1981. Vol. 67, is. 4. P. 763–767. DOI: 10.1104/pp.67.4.763.
11. Лубенец П.А., Иванов А.И., Кириллов Ю.И., и др., сост. Методические указания по изучению коллекции многолетних кормовых трав. Л.: ВИР, 1979. 42 с.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 351 с.
13. Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Homogeneity and Stability. TG/67/5 Original: English Date: 2006-04-05 International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Geneva, 2006. Доступно по: <https://upov.int/edocs/tgdocs/en/tg067.pdf>.
14. Evans J.R., Santiago L.S. Prometheus Wiki Gold Leaf Protocol: gas exchange using LI-COR 6400 // Funct. Plant Biol. 2014. Vol. 41, is. 3. P. 223–226. DOI: 10.1071/FP10900.
15. Lawrence E.H., Stinziano J.R., Hanson D.T. Using the rapid A-Ci response (RACiR) in the LI-COR 6400 to measure developmental gradients of photosynthetic capacity in poplar // Plant, Cell & Environment. 2019. Vol. 42, is. 2. P. 740–750. DOI: 10.1111/pce.13436.
16. Баврина А.П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях // Медицинский альманах. 2020. № 2 (63). С. 95–104. EDN: UCVXIX.
17. Huseynov R., Aliyeva N., Bezpalov V., et al. Cluster analysis as a tool for improving the performance of agricultural enterprises in the agro-industrial sector // Environ Dev Sustain. 2024. Vol. 26. P. 4119–4132. DOI: 10.1007/s10668-022-02873-8.

18. Khan I., Sohail Z.S., Li G., et al. Adaptive responses of plants to light stress: mechanisms of photoprotection and acclimation. A review // *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 16. P. 1550125. DOI: 10.3389/fpls.2025.1550125.
19. Fiorucci A.-S., Fankhauser C. Plant strategies for enhancing access to sunlight // *Curr. Biol.* 2017. Vol. 27. P. 931–940. DOI: 10.1016/j.cub.2017.05.085.
20. Khan I., Zada A., Jia T., et al. Effect of the enhanced production of chlorophyll B on the light acclimation of tomato // *Int. J. Of Mol. Sci.* 2023. Vol. 24, is. 4. P. 3377. DOI: 10.3390/ijms24043377.
21. Tan S.-L., Huang X., Li W.-Q., et al. Elevated CO₂ concentration alters photosynthetic performances under fluctuating light in *Arabidopsis thaliana* // *Cells*. 2021. Vol. 10, is. 9. P. 2329. DOI: 10.3390/cells10092329.

References

1. Kostenko SI, Sedova EG, Dumacheva EV. Fodder crop breeding is the basis for sustainable fodder production in the current stage of Russian development. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2022;36(4):15-21. (In Russ.). DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_15.
2. Dumacheva EV, Chernyavskikh VI, Sayfutdinova LD, et al. Prospects of using the results of photosynthesis studies in plant breeding: a review of the main directions of research. *Kormoproizvodstvo*. 2024;(4):18-29. (In Russ.). DOI: 10.30906/1562-0417-2024-4-18-29.
3. Jin X, Zhang T, Wang L, et al. Using an Optimised Neural Architecture Search for Predicting the Quantum Yield of Photosynthesis of Winter Wheat. *Biosystems Engineering*. 2023;230:442-457. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2023.04.015.
4. Amelin AV, Chekalin EI, Zaikin VV, et al. Rate of photosynthesis and transpiration of winter wheat plants. *Vestnik Kurskoy GSKHA*. 2020;(9):41-48. (In Russ.). EDN: NUQFAJ.
5. Braun RC, Mandal P, Nwachukwu E, et al. The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans: Thirty years later. *Crop Science*. 2024;64(6):2909-2944. DOI: 10.1002/csc2.21383.
6. Kosolapov VM, Chernyavskikh VI, Marinich MN. Formation of elements of seed productivity in cultivars of red fescue: breeding approach. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2021;(6):24-28. (In Russ.). DOI: 10.31857/S2500262721060053.
7. Marinich MN, Chernyavskikh VI. The variety trial of lawn red fescue in the western caucasus and central chernozem region. *Kormoproizvodstvo*. 2021;(8):38-42. (In Russ.). DOI: 10.25685/krm.2021.8.2021.007.
8. Van Huylbroeck J, Lootens P, Van Bockstaele E. Photosynthetic characteristics of perennial ryegrass and red fescue turf-grass cultivars. *Grass and Forage Science*. 1999;54(3):267-274. DOI: 10.1046/j.1365-2494.1999.00179.x.
9. Szczepanek M, Olszewski J. Effect of method and time of sowing on the growth, development, chlorophyll content and photosynthesis rate of *Festuca rubra* L. SSP. *commutata*, *trichophylla*, *rubra* grown for seeds in the year of establishment and in the first production year. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 2009;8(2):31-41.
10. Krueger RW, Miles D. Photosynthesis in Fescue: I. High rate of electron transport and phosphorylation in chloroplasts of hexaploid plants. *Plant Physiology*. 1981;67(4):763-767. DOI: 10.1104/pp.67.4.763.
11. Lubenets PA, Ivanov AI, Kirillov YI, et al. *Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu kollektssii mnogoletnikh kormovykh trav*. Leningrad: VIR; 1979. 42 p. (In Russ.).
12. Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)*. Moscow: Al'yans; 2011. 351 p. (In Russ.).
13. *Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Homogeneity and Stability*. TG/67/5 Original: English Date: 2006-04-05 International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Geneva; 2006. Available at: <https://upov.int/edocs/tgdocs/en/tg067.pdf>.
14. Evans JR, Santiago LS. Prometheus Wiki Gold Leaf Protocol: gas exchange using LI-COR 6400. *Functional Plant Biology*. 2014;41(3):223-226. DOI: 10.1071/FP10900.
15. Lawrence EH, Stinziano JR, Hanson DT. Using the rapid A-Ci response (RACiR) in the LI-COR 6400 to measure developmental gradients of photosynthetic capacity in poplar. *Plant Cell & Environment*. 2019;42(2):740-750. DOI: 10.1111/pce.13436.

16. Bavrina AP. Modern rules for the use of descriptive statistics methods in biomedical research. *Meditsinskiy al'manakh*. 2020;2:95-104. (In Russ.). EDN: UCVXIX.
17. Huseynov R, Aliyeva N, Bezpalo V, et al. Cluster analysis as a tool for improving the performance of agricultural enterprises in the agro-industrial sector. *Environment, Development & Sustainability*. 2024;26:4119-4132. DOI: 10.1007/s10668-022-02873-8.
18. Khan I, Sohail ZS, Li G, et al. Adaptive responses of plants to light stress: mechanisms of photoprotection and acclimation. A review. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1550125. DOI: 10.3389/fpls.2025.1550125.
19. Fiorucci AS, Fankhauser C. Plant strategies for enhancing access to sunlight. *Current Biology*. 2017;27(17):R931-R940. DOI: 10.1016/j.cub.2017.05.085.
20. Khan I, Zada A, Jia T, et al. Effect of the enhanced production of chlorophyll B on the light acclimation of tomato. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(4):3377. DOI: 10.3390/ijms24043377.
21. Tan SL, Huang X, Li WQ, et al. Elevated CO₂ concentration alters photosynthetic performances under fluctuating light in *Arabidopsis thaliana*. *Cells*. 2021;10(9):2329. DOI: 10.3390/cells10092329.

Статья принята к публикации 09.09.2025 / The article accepted for publication 09.09.2025.

Информация об авторах:

Елена Владимировна Думачева, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии сельскохозяйственных растений, доктор биологических наук, доцент

Владимир Иванович Чернявских, заместитель директора по научной работе, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Елена Владимировна Усолицева, младший научный сотрудник лаборатории физиологии сельскохозяйственных растений

Александр Юрьевич Печегин, младший научный сотрудник лаборатории физиологии сельскохозяйственных растений

Юлия Валентиновна Печегина, научный сотрудник лаборатории физиологии сельскохозяйственных растений

Information about the authors:

Elena Vladimirovna Dumacheva, Leading Researcher, Laboratory of Physiology of Agricultural Plants, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

Vladimir Ivanovich Cherniavskih, Deputy Director for Research, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Elena Vladimirovna Usoltseva, Junior Researcher, Laboratory of Physiology of Agricultural Plants

Alexander Yurievich Pechegin, Junior Researcher, Laboratory of Physiology of Agricultural Plants

Yulia Valentinovna Pechegina, Researcher, Laboratory of Physiology of Agricultural Plants

