

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НОВЫХ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ЗОНЕ ЗАСУШЛИВОГО КЛИМАТА НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

А. Ю. Гузенко¹, младший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства, guzenko-ay@vfanc.ru, ORCID ID: 0000-0003-3852-5358;

А. В. Солонкин¹, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора, руководитель селекционно-семеноводческого центра, solonkin-a@vfanc.ru, ORCID ID: 0000-0002-1576-7824;

А. А. Донцова², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, пр-кт Университетский, д. 97; e-mail: info@vfanc.ru,

²ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В связи с изменением климатических условий в сторону аридизации в Южном федеральном округе за последние тридцать лет резко упала урожайность ярового ячменя. В 2022–2023 гг. на основе ранних исследований и данных по метеорологическим прогнозам в Волгоградской области был заложен опытный участок на базе Федерального научного центра агроэкологии РАН в Городищенском районе по испытанию ярового ячменя сортов Медикум 139 (стандарт, ФНЦ агроэкологии РАН), Ратник, Федос, Формат, Азимут, Щедрый, Леон (ФГБНУ «АНЦ «Донской»). Данные сорта были выбраны по своим характеристикам как наиболее устойчивые к абиотическим стресс-факторам среды. Все учеты и наблюдения проводили согласно общепринятым методикам. В течение вегетационного периода проводили наблюдения и брали пробы для изучения фотосинтетических показателей в фазы «всходы», «кущение», «выход в трубку», «колошение». Также проводилась листовая диагностика мобильной лабораторией «Экотест-2020» на подвижность хлоропластов и элементов питания в растениях в фазу кушения. Установлено, что сорта ярового ячменя Азимут, Формат, Щедрый и Леон показали наиболее высокую адаптивность в острозасушливых условиях Волгоградской области. По анализируемым признакам фотосинтетической деятельности выделился сорт Азимут, внесенный с 2022 г. в Госреестр селекционных достижений РФ по Нижневолжскому региону.

Ключевые слова: фотосинтетический потенциал, «Экотест-2020», яровой ячмень, листовая диагностика, сухое вещество, хлорофилл в листьях, засухоустойчивость.

Для цитирования: Гузенко А. Ю., Солонкин А. В., Донцова А. А. Сравнительный анализ фотосинтетического потенциала новых сортов ярового ячменя в зоне засушливого климата Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 2. С. 88–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-88-97.



COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL OF NEW SPRING BARLEY VARIETIES IN THE ARID CLIMATE ZONE OF THE LOWER VOLGA REGION

A. V. Guzenko¹, junior researcher of the laboratory for breeding, seed production and nursery production, guzenko-ay@vfanc.ru, ORCID ID: 0000-0003-3852-5358;

A. V. Solonkin¹, Doctor of Agricultural Sciences, deputy director, head of the Center of breeding and seed production, solonkin-a@vfanc.ru, ORCID ID: 0000-0002-1576-7824;

A. A. Dontsova², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303

¹FSBSI "Federal Research Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of RAS", 400062, Volgograd, Universitetsky Pr., 97; e-mail: info@vfanc.ru

²FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Since the climatic conditions have become more arid in the Southern Federal District over the past thirty years, spring barley productivity has sharply reduced. According to the early research and data on meteorological forecasts, in 2022–2023 in the Gorodishchensky district of the Volgograd region there was established an experimental plot based on the Federal Research Center of Agroecology of RAS to test such spring barley varieties as 'Medikum 139' (standard, FRC of Agroecology of RAS), 'Ratnik', 'Fedos', 'Format', 'Azimuth', 'Shchedry', 'Leon' (FSBRI "ARC "Donskoy"). These varieties were selected based on their characteristics as the most resistant to abiotic stress factors of the environment. All records and observations were carried out according to generally accepted methods. During the vegetation period, there were carried out observations and there were taken samples to study photosynthetic indicators in the sprouting, tillering, booting, heading stages. There was also carried out leaf diagnostics by the mobile laboratory «Ecotest-2020» to identify the mobility of chloroplasts and nutrients in plants during the tillering period. There was established that the spring barley varieties 'Azimut', 'Format', 'Shchedry' and 'Leon' showed the highest adaptability to the acutely arid conditions of the Volgograd region. Based on the analyzed traits of photosynthetic activity, the va-

riety 'Azimut' has been included in the State List of Breeding Achievements of the Russian Federation for the Lower Volga region since 2022.

Keywords: *photosynthetic potential, «Ecotest-2020», spring barley, leaf diagnostics, dry matter, chlorophyll in leaves, drought resistance.*

Введение. Переход сельского хозяйства России к рыночным отношениям нацеливает сельхозпроизводителей решать задачи повышения производства востребованных рынком категорий сельскохозяйственной продукции, в том числе и фуражного зерна (Сапунков и др., 2021). Увеличение производства фуражного зерна – это важное звено в продовольственной безопасности России (Филиппов и др., 2022). В Южный федеральный округ входят 8 субъектов РФ – это Севастополь, Республика Адыгея, Республика Калмыкия, Крым, Краснодарский край, Астраханская, Волгоградская и Ростовская области. Ячмень по посевным площадям здесь является основной зернофуражной культурой. Яровой ячмень, как и пшеница, – одна из древнейших и популярных культур (Гузенко, 2023; Seminchenko and Solonkin, 2022). Наибольшие площади посева ячменя сосредоточены в России, Китае, США, Индии, Турции, Франции и других странах (Aubry, 2019). Период вегетации в среднем 75–97 дней. В сельхозпроизводстве занимает первое место по содержанию протеина для использования в качестве корма для скота. Также лучшие сорта с содержанием 8–11 % белка идут на пивоварение. В России в 2020–2022 гг. на эту культуру приходилось примерно 20 % зернового клина, или 7,4–7,8 млн га, что говорит о важности ярового ячменя в зерновом балансе страны (Гузенко, 2021; Guzenko and Seminchenko, 2023). Распространение ячменя на территории большей части России объясняется тем, что он менее требователен, чем другие полевые культуры, к условиям выращивания. За последние годы показатели урожайности ярового ячменя с начала 2000-х гг. до настоящего времени в Волгоградской области повысились в среднем с 1,6 до 2,3 т/га. Однако этого недостаточно в связи с переменой климата в сторону больших колебаний температур и лимита влаги в почве (Филиппов и др., 2023). Высокая продуктивность и качество урожая могут быть получены только при благоприятном сочетании всех факторов развития растений (Евдокимова и др., 2018). В процессе роста и развития растений в острозасушливых условиях непременно изменяется интенсивность фотосинтеза и фотосинтетическая деятельность ячменя (Семинченко, 2020; Viljevas et al., 2019; Labidi et al., 2022). Фотосинтетическая деятельность растений в посевах включает в себя ряд важнейших показателей: размеры фотосинтетического аппарата, быстроту его развития, продолжительность и интенсивность работы листьев, показатель чистой продуктивности фотосинтеза. Показатели площади листьев, продолжительность их работы и накопление сухой биомассы определяют продуктивность фотосинтетической деятель-

ности посевов. Площадь листьев является одним из важных показателей, характеризующих фотосинтетическую деятельность растений. И по данным многочисленных исследований, урожайность культуры тесно связана именно с размерами площади листьев (Al-Ghzawi et al., 2019; Cammarano et al., 2019; Klem et al., 2019).

В связи с вышеизложенным была поставлена цель – провести изучение фотосинтетической деятельности новых сортов ярового ячменя в засушливых почвенно-климатических условиях Волгоградской области.

Задачи исследований.

1. Провести оценку изучаемых сортов ярового ячменя по количественным и качественным признакам.

2. Установить влияние сортовых особенностей и почвенно-климатических условий на фотосинтетический потенциал и движение хлоропластов в листьях сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Материалы и методы исследований. Все учеты и наблюдения проводили согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова (2014) и Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019).

Изучение ярового ячменя проводили в период 2022–2023 годов. Участок, где был заложен опыт, расположен в Городищенском районе Волгоградской области на землях ФНЦ агроэкологии РАН (кадастровый номер 34:03:000000:6). Площадь делянки 50 м² в 6-кратной повторности. Почва экспериментального участка каштановая среднемошная тяжелосуглинистая, типичная для данной местности. Содержание гумуса в пахотном слое 0–30 см составляет в среднем 1,8–2,4 %, валового фосфора и азота – 0,11 и 0,06 %. Опыты закладывали по черному пару с минимальной обработкой почвы, основную обработку проводили дисковыми орудиями на глубину 8–10 см.

В течение вегетационного периода проводили наблюдения и учеты для изучения фотосинтетических показателей в фазы «всходы», «кущение», «выход в трубку», «колошение».

На опытном участке проводили агротехнические мероприятия в следующие сроки: предпосевная обработка семян – март 2022 и 2023 гг., предпосевная культивация парового поля – 12.04.2022 г. и 18.04.2023 г., посев – 14.04.2022 г. и 21.04.2023 года. Норма высева составила 3,5 млн всхожих семян на 1 га. Глубина заделки семян – 3–4 см. Перед посевом обработали семена рабочей смесью (фунгицидный протравитель + инсектицидный протравитель + стимулятор роста). Для посева использовали сеялку ДОН-114. Для изучения высевали 7 сортов ярового ячменя: Медикум 139 (стандарт, ФНЦ агроэкологии РАН) и сорта АНЦ «Донской»: Ратник, Федос, Формат, Азимут, Щедрый, Леон.

Температурный режим и количество осадков в марте 2022 г. (179 мм) позволило получить полноценные всходы спустя две недели после посева. В конце мая 2022 г. выпали обильные осадки. Неблагоприятные условия, связанные с высокими температурами в первой декаде июня 2022 г., наблюдавшиеся в фазу трубкования, немного затормозили процессы развития растений ярового ячменя, однако со второй декады июня (перед началом фазы цветения) выпали кратковременные осадки, позволившие растениям ярового ячменя сформировать полноценное зерно.

В марте 2023 г. установилась положительная динамика дневных температур, но в ночное время наблюдались отрицательные, в среднем за месяц – 2,3 °С. В марте выпало 147 мм осадков в виде дождя и снега, это пополнило запас влаги в верхних слоях почвы. В апреле происходило постепенное нарастание температур воздуха, но в ночное время зафиксированы возвратные ночные заморозки. Средняя температура за апрель составила 8,4 °С, выпало 62,6 мм осадков. Климатические условия опытного участка в 1-й декаде мая для посева ярового ячменя сложились благоприятные по температурному режиму, но в дальнейшем наблюдались экстремальные перепады температур в связи с затяжными ливневыми дождями. Среднемесячная температура воздуха 15,1 °С. За этот период выпало 51,4 мм осадков. В июне стояла ясная жаркая погода. В первой декаде прошли ливневые дожди в сумме 58 мм. Максимальная температура воздуха доходила до 32,0 °С. В июле жара усилилась до 38 °С, осадков выпало мало – 14,5 мм.

Обильное количество осадков за 2022–2023 гг. дало положительный эффект на развитие продуктивного кущения, массы корней и массы побегов каждого сорта ярового ячменя.

Проводили наблюдения по изучению площади листовой поверхности, чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), фотосинтетической деятельности растений ярового ячменя в посевах в соответствии с методическими указаниями (Ленточкин, 2018).

По диагонали каждой деланки отбирали листья в количестве девяти проб. Из каждой пробы методом случайной выборки – по 10 зеленых листьев, взвешивали их, определяли площадь методом линейных измерений по длине (Д) и наибольшей ширине (Ш).

Площадь измеренных листьев (S) рассчитывали по формуле:

$$S = D_{\text{ср}} \times Ш_{\text{ср}} \times 0,7 \times n,$$

где n – число измеренных листьев.

Сухую массу корней и листьев (с 1 единицы растения) определяли по методике Б. А. Ягодина и др. (1987) высушиванием собранного материала до постоянного веса при 80–85 °С в сушильном шкафу, затем остужали в эксикаторе и взвешивали с точностью до третьего знака после запятой на аналитических весах.

Визуальную и химическую диагностику проводили по методу функциональной диагностики питания растений, впервые предложенную отечественными учеными А. С. Плешковым и Б. А. Ягодиным (а/с № 952168, 1982).

Математическую обработку данных выполняли методами корреляционного и регрессионного анализов по трендовой линии с использованием пакета программы Excel 7.0

Результаты и их обсуждение. В остро-засушливых условиях большую роль играет способность растений формировать достаточную массу корней и массу побега. Были выявлены сорта с лучшим фотосинтезирующим механизмом (масса корней + масса побега, г/растение), например, Азимут – 5,05 г, Щедрый – 4,7 г и Леон – 4,7 (табл. 1).

Таблица 1. Показатели сухой массы корней и побегов в фазу кущения сортов ярового ячменя, г/растение (среднее за 2022–2023 гг.)
Table 1. Indicators of dry weight of roots and sprouts in the tillering phase (g/plant) of the spring barley varieties (mean in 2022–2023)

Название сорта	Масса корней, г	Масса побега, г
Медикум 139, st	2,30	1,94
Ратник	2,12	1,93
Федос	2,32	2,04
Формат	2,34	2,02
Азимут	2,84	2,21
Щедрый	2,56	2,14
Леон	2,39	2,14
НСР ₀₅	0,12	0,1

Результаты исследований показали, что уже на ранних этапах онтогенеза у разных сортов ярового ячменя наблюдаются различия по размерам листового аппарата в зависимости от характеристики каждого сорта. Анализ полученных данных позволил выявить преи-

мущество некоторых сортов по фотосинтетическому потенциалу развития ярового ячменя. Так, максимальной величины фотосинтетический потенциал достигал в межфазный период «выход в трубку – колошение», когда он был в 1,3 раза выше, чем в фазу «кущение – выход

в трубку». Наиболее высокий потенциал показал сорт Азимут – 1424 тыс. м²/сутки/га. Сорта Формат, Щедрый и Леон показали существен-

но меньшую разницу от стандарта – на 29–35 % (табл. 2).

Таблица 2. Фотосинтетический потенциал посевов ярового ячменя, тыс. м² сутки/га (среднее за 2022–2023 гг.)

Table 2. Photosynthetic potential of the spring barley crops, thousand m² day/ha (mean in 2022–2023)

Название сорта	Межфазный период		
	Кущение–выход в трубку	Выход в трубку–колошение	Кущение–колошение
Медикум 139, st	422,9	617,9	1040,8
Ратник 5	421,7	596,4	1018,1
Федос	476,7	701,5	1178,2
Формат	507,8	762,3	1270,1
Азимут	631,7	792,3	1424
Щедрый	582,6	689,7	1272,3
Леон	588,2	702,6	1290,8
НСР ₀₅	25,9	34,7	60,73

Не менее значимым показателем, определяющим фактор формирования урожая полевых культур, является фотосинтетическая деятельность растений, которая зависит от величины листовой поверхности и от ее работоспособности, то есть продуктивности фотосинтеза.

По чистой продуктивности фотосинтеза в фазу «кущение – выход» в трубку достоверная прибавка получена по сортам Формат, Азимут, Щедрый, Леон; в фазу «выход в трубку –

колошение» – Федос, Формат, Азимут, Щедрый, Леон; в фазу «кущение – колошение» – Федос, Формат, Азимут, Щедрый, Леон. Сорт Ратник во все фазы достоверно уступал стандарту по изучаемому показателю. В среднем по всем фазам развития наибольшие значения чистой продуктивности фотосинтеза отмечены у сорта Азимут – 0,44 г/м²/сутки. В среднем процент разницы у других сортов от контроля составил 18–23 % (табл. 3).

Таблица 3. Чистая продуктивность фотосинтеза ярового ячменя, г/м²/сутки (среднее за 2022–2023 гг.)

Table 3. Net photosynthetic productivity of spring barley, g/m²/day (mean in 2022–2023)

Название сорта	Межфазный период		
	Кущение–выход в трубку	Выход в трубку–колошение	Кущение–колошение
Медикум 139, st	0,06	0,19	0,25
Ратник	0,06	0,18	0,24
Федос	0,07	0,24	0,31
Формат	0,09	0,25	0,34
Азимут	0,14	0,30	0,44
Щедрый	0,12	0,26	0,36
Леон	0,15	0,23	0,38
НСР ₀₅	0,01	0,01	0,02

Одним из немаловажных составляющих фотосинтетического потенциала является динамика накопления массы сухого вещества растениями ярового ячменя, которая зависит от агротехнологических приемов, климатических условий и т.д. Исследования показали, что активное накопление абсолютного сухого

вещества происходит в фазу «выход в трубку» и составляет максимальное количество у сорта Азимут – 830 г/м² (табл. 4). Сорта Формат, Щедрый и Леон дали положительную прибавку по весу сухого вещества в растениях ярового ячменя к стандарту Медикум 139 (+63–75 г/м²) (табл. 4).

Таблица 4. Динамика накопления сухого вещества в посевах ярового ячменя, г/м² (среднее за 2022–2023 гг.)

Table 4. Dynamics of dry matter accumulation in the spring barley crops, g/m² (mean in 2022–2023)

Название сорта	Межфазный период		
	Кущение–выход в трубку	Выход в трубку–колошение	Кущение–колошение
Медикум 139, st	168	489	657
Ратник	159	448	607
Федос	173	519	692

Продолжение табл. 4

Название сорта	Межфазный период		
	Кущение–выход в трубку	Выход в трубку–колошение	Кущение–колошение
Формат	182	542	724
Азимут	209	621	830
Щедрый	178	576	754
Леон	164	447	698
НСР ₀₅	8,81	26,01	35,44

По литературным данным, вследствие дефицита влаги уменьшается поступление и транспорт питательных веществ, которые растения поглощают с водой, это касается и массового тока, и диффузии. Нарушение режима питания растений в сочетании с экологическими стрессами вызывает значительные потери производительности сельскохозяйственных культур. Продуктивность сельскохозяйственных культур в засушливых условиях определяется как устойчивостью на клеточном уровне, так и процессами, протекающими при гармоническом взаимодействии всех органов растения, существенную роль в этом играют микроэлементы как кофакторы ферментов. Также исследованиями установлено, что засуха и высокая температура ведут к снижению интенсивности фотосинтеза и уменьшению содержания углеводов. Бор, марганец, цинк, медь и молибден повышают интенсивность фотосинтеза, особенно при недостаточном водоснабжении и высокой критической температуре. Микроэлементы снижают также полуденную депрессию фотосинтеза и усиливают передвижение углеводов из листьев к колосу, ослабленное под влиянием дефицита влаги. Во время засухи дыхание сопровождается уменьшением общего запаса фосфорилированных продуктов, играющих первостепенную роль в энергетическом обмене (Самотенко, 2011; Hasanuzzaman et al, 2017; Priadkina, 2020).

Во время развития ячменя в фазу «кущение – выход в трубку» проводили изучение движения хлоропластов в листьях растений и запас элементов питания растений при помощи мобильной лаборатории для проведения функциональной диагностики экспресс-методом «Экотест-2020». Целью данного метода является ранжирование по уровню потребности растений питательных элементов – «отклику» длины волны хлоропластов по исследуемым

элементам питания сортов ярового ячменя. С помощью дисперсионного количественного анализа каждого диагностируемого элемента оценивают значимость и количество запаса питательных веществ при движении хлоропластов. Значение (процент) отклика устанавливается по разнице фотохимической активности суспензии хлоропластов при диагностике питательных элементов в готовой суспензии хлоропластов. Данный способ позволил скорректировать потребность элементов питания растений, отвечающих за засухоустойчивость сортов ярового ячменя: фосфор, калий, азот, цинк, медь и др. Для анализа использовали 3–4-й лист (сверху) взрослых растений в фазу кущения (4 мая 2023 г.).

Проведя анализ выделения хлоропластов и измерения оптической плотности до освещения и после него, из разности результатов получено заключение по процентному отклонению от контрольных замеров K2-K3-K4-K5. С помощью кривой линии на графиках каждого сорта показано, на сколько процентов происходит отклонение в сторону избытка или недостатка определенного исследуемого элемента.

Исследование движения хлоропластов по элементам питания в сортах ячменя показало, что наиболее высокий процент отклонения от контрольной линии K2-K3-K4-K5 наблюдался у стандарта Медикум 139 ($\pm 4-6\%$). В фазу кущения были выявлены сорта, которые проявили наибольшую устойчивость к засухе и минимальному количеству осадков: Азимут $\pm 2-4\%$; Щедрый $\pm 3-5\%$ и Леон $\pm 1-2\%$. Данные сорта обладали лучшим движением суспензии в листах хлоропластов по элементам N, P, Ca и Mo ($+3-4\%$) от контрольных точек K2-K3-K4-K5. Сорта ярового ячменя Ратник, Федос и Формат имели большие отклонения по процентному содержанию элементов от контрольной линии K2-K3-K4-K5: $\pm 7-9\%$ (рис. 1–7).

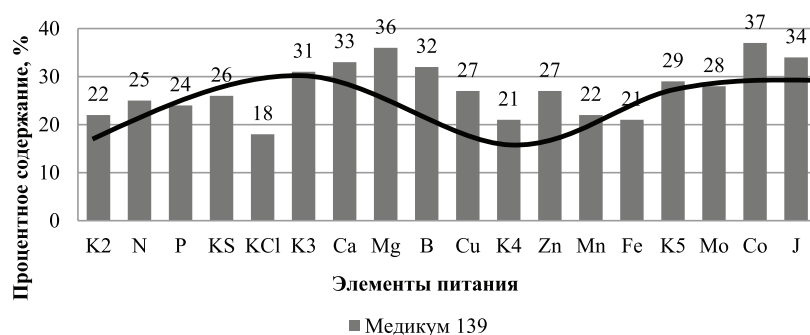


Рис. 1. Листовая диагностика сорта Медикум 139 в фазу 3–4-х листьев (среднее за 2022–2023 гг.)
Fig. 1. Leaf diagnostics of the variety 'Medikum 139' in the phase of 3–4 leaves (mean in 2022–2023)

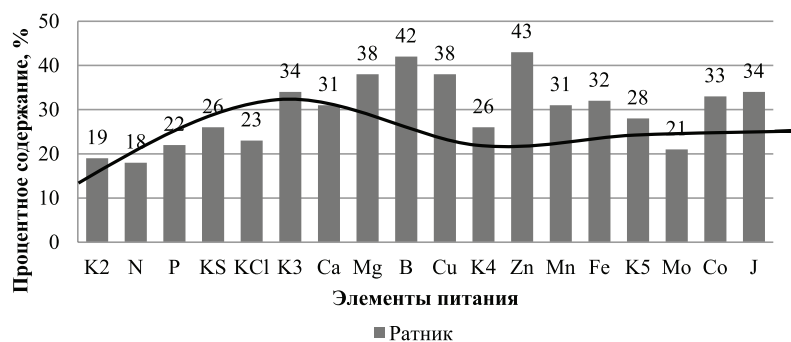


Рис. 2. Листовая диагностика сорта Ратник в фазу 3–4-х листьев (среднее за 2022–2023 гг.)
Fig. 2. Leaf diagnostics of the variety 'Ratnik' in the phase of 3–4 leaves (mean in 2022–2023)

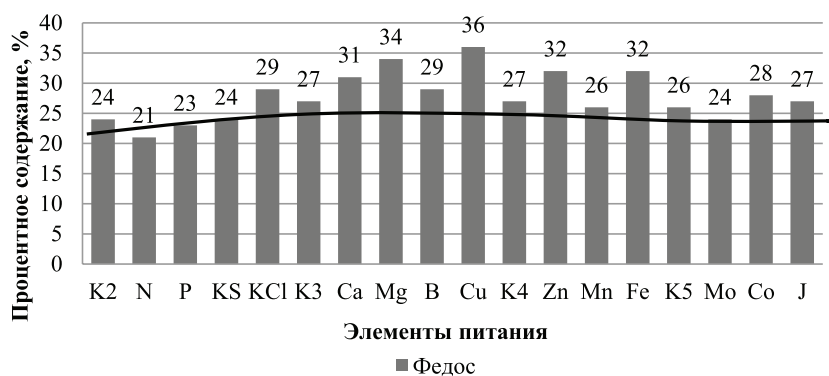


Рис. 3. Листовая диагностика сорта Федос в фазу 3–4-х листьев (среднее за 2022–2023 гг.)
Fig. 3. Leaf diagnostics of the variety 'Fedos' in the phase of 3–4 leaves (mean in 2022–2023)

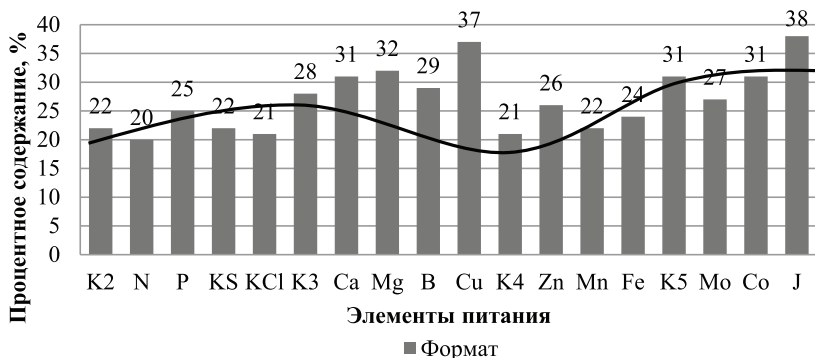


Рис. 4. Листовая диагностика сорта Формат в фазу 3–4-х листьев (среднее за 2022–2023 гг.)
Fig. 4. Leaf diagnostics of the variety 'Format' in the phase of 3–4 leaves (mean in 2022–2023)

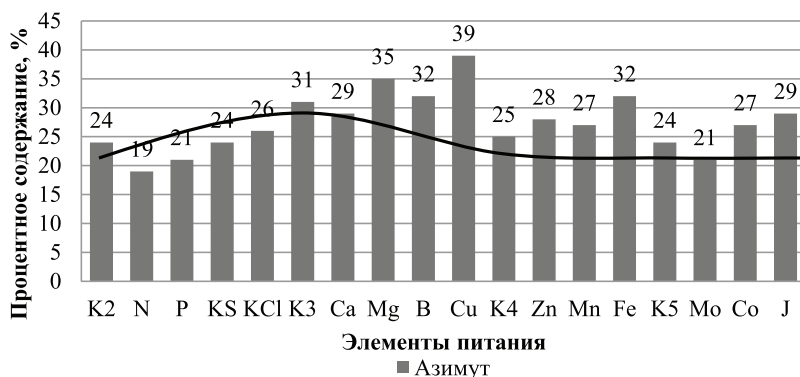


Рис. 5. Листовая диагностика сорта Азимут в фазу 3–4-х листьев (среднее за 2022–2023 гг.)
Fig. 5. Leaf diagnostics of the variety 'Azimut' in the phase of 3–4 leaves (mean in 2022–2023)

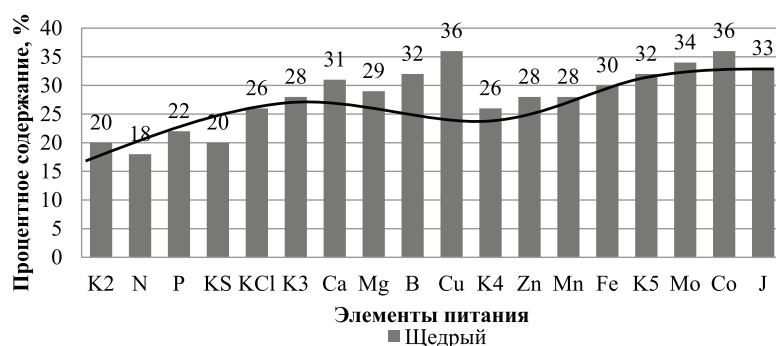


Рис. 6. Листовая диагностика сорта Щедрый в фазу 3–4-х листьев (среднее за 2022–2023 гг.)
Fig. 6. Leaf diagnostics of the variety 'Shchedry' in the phase of 3–4 leaves (mean in 2022–2023)

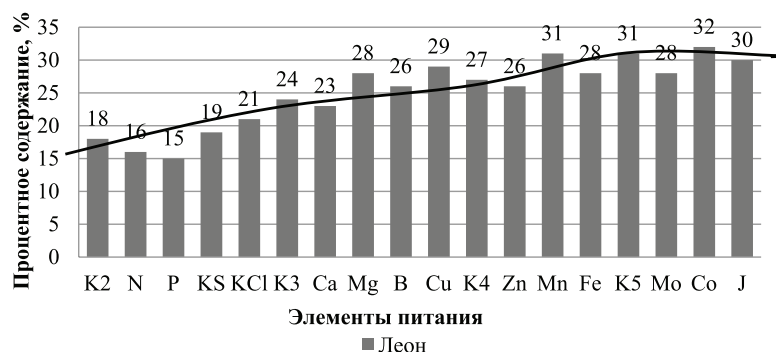


Рис. 7. Листовая диагностика сорта Леон в фазу 3–4-х листьев на опытном участке Городищенского района (среднее за 2022–2023 гг.)
Fig. 7. Leaf diagnostics of the variety 'Leon' in the phase of 3–4 leaves on the experimental plot of the Gorodishchensky district (mean in 2022–2023)

На основании изучения сортов ярового ячменя в фазу кущения по потенциалу активности хлоропластов в листьях растений (3–4 листа) была разработана трендовая модель возделываемых сортов. Анализ на аппроксимацию показал, что сорта Ратник, Формат и Азимут ($R^2 = 0,32, 0,51$ и $0,56$ соответственно) подчиняются полиномиальному уравнению (табл. 5), что может показывать на нестабильность движения хлоропластов в листьях растений и не-

стабильность дальнейшего развития ячменя по фазам вегетации, что может привести к потерям урожайности данных сортов. Однако сорта Азимут и Формат имеют высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0,56$ и $0,51$ соответственно), что говорит о высокой адаптивности и положительном запасе питательных элементов для поддержания синергизма растением в засушливых условиях Волгоградской области.

Таблица 5. Трендовая модель сортов ярового ячменя фотосинтетического потенциала за 2022–2023 гг.

Table 5. Trend model of the spring barley varieties of photosynthetic potential in 2022–2023

Наименование сорта	R2	Уравнение линии тренда	
		Уравнение	Наименование
Медикум 139, st	0,13	$y = 2,51991\ln(x) + 22,29$	Логарифмическая
Ратник	0,32	$y = 0,1764x^2 + 3,9389x + 13,194$	Полиномиальная
Федос	0,12	$y = 0,2085 + 25,797$	Линейная
Формат	0,51	$y = 0,0211x^3 + 0,611x^2 + 5,37$	Полиномиальная
Азимут	0,56	$y = 0,005x^3 + 0,1794x^2 + 6,0813x + 26,705$	Полиномиальная
Щедрый	0,73	$y = 17,722x^{0,2215}$	Экспоненциальная
Леон	0,81	$y = 0,8999x + 16,562$	Линейная

По сорту Щедрый ($R = 0,73$) получен экспоненциальный вид уравнения: $y = 17,722x^{0,2215}$, который показывает большую вероятность сохранения и адаптивности движения хлоропластов за счет содержащихся элементов питания в растениях ячменя при засухе и высоких температурах воздуха. Сорта Леон и Федос ($R^2 = 0,81$ и $0,12$ соответственно) показыва-

ют линейное уравнение: $y = 0,8999x + 16,562$ и $y = 0,2085 + 25,797$. Однако сорт Федос имеет низкий коэффициент детерминации. Это объясняется низким накоплением сухого вещества в фазу «выход в трубку–колошение», что приводит к нестабильному развитию растений этого сорта в данной климатической зоне. По полученным данным сорт Леон по запасу питатель-

ных веществ в процессе онтогенеза показал наиболее высокий коэффициент детерминации и имеет самую лучшую вероятность поддерживать производство биомассы растений в сухих условиях за счет механизма устойчивости к высыханию и водному дефициту организма.

Выводы. На основании проведенных исследований четко наблюдается влияние генетического потенциала некоторых сортов ярового ячменя на способность сохранять устойчивость фотосинтетических процессов развития растений в поддержании запаса элементов питания, ответственных за жизнедеятельность ярового ячменя на фоне острозасушливых условий. Были выявлены сорта ярового ячменя Азимут, Формат, Щедрый и Леон, которые показали наиболее высокую адаптивность в острозасушливых условиях Волгоградской области.

По изучаемым показателям фотосинтезирующего механизма, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза и динамике накопления массы сухого вещества выделился сорт Азимут, который с 2022 г. внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ по Нижневолжскому региону.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания № FNFE-2022-0010 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Библиографические ссылки

1. Гузенко, А. В. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество сортов озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2021. № 3. С. 78–84. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-3-016
2. Гузенко, А. Ю. Исследование и математическое моделирование влияния биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в засушливых условиях Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1(69). С. 290–303. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-31
3. Евдокимова М. А., Марьина-Чермных О. Г. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 91–96. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-4-91-97
4. Методики агрономических исследований: учебно-методическое пособие / М 54 сост. А. М. Ленточкин [и др.]; отв. за выпуск А. М. Ленточкин. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. 172 с.
5. Сапунков В. Л., Солонкин А. В., Гузенко А. В. Экологическое испытание сортов озимой пшеницы «АНЦ «Донской» в зоне темно-каштановых почв Волгоградской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 88–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-88-94.6
6. Семинченко, Е. В. Фотосинтетический потенциал ярового ячменя в условиях Нижнего Поволжья // Аграрная наука. 2020. № 336(3). С. 63–66.
7. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П., Дорошенко Э. С., Брагин Р. Н., Засыпкина И. М. Сорт ярового ячменя Азимут // Зерновое хозяйство России. 2022. № 5. С. 91–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97
8. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Ретроспектива селекции ячменя в ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2023. № 2. С. 5–17. DOI: 0.31367/2079-8725-2023-85-2-5-17
9. Ягодин Б. А., Дерюгин И. П., Жуков Ю. П. Практикум по агрохимии. Агропромиздат, 1987. 512 с.
10. Al-Ghzawi A. L. A., Al-Ajlouni Z. I., Al Sane K. O., Bsoul E. Y., Musallam I., Khalaf Y. B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqa H. Yield stability and adaptation of four spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed // Conditions Research on Crops. 2019. Vol. 20(1), P. 10–18.
11. Aubry, S. The Future of Digital Sequence Information for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10, Article number: 1046. DOI: 10.3389/fpls.2019.01046
12. Cammarano D., Hawes C., Squire G., Holland J., Rivington M., Murgia T., Roggero P. P., Fontana F., Casa R., Ronga D. Rainfall and temperature impacts on barley (*Hordeum vulgare* L.) yield and malting quality in Scotland // Field Crops Research. 2019. Vol. 241(1), Article number: 107559. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107559
13. Guzenko A. Yu., Seminchenco E. V. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (*Hordeum vulgare*) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia // Research on Crops. 2023. Vol. 24, № 2. P. 270–275. DOI: 10.31830/2348-7542.2023.ROC_916
14. Klem K., Gargallo-Garriga A., Rattanapichai W., Oravec M., Holub P., Veselá B., Sardans J., Peñuelas J., Urban O. Distinct Morphological, Physiological, and Biochemical Responses to Light Quality in Barley Leaves and Roots // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10, Article number: 1026. DOI: 10.3389/fpls.2019.01026
15. Labidi S., Laruelle F., Tisserant B., Ben F., Lounès-Had A. Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless Barley (*Hordeum vulgare* ssp. nudum L.) under water stress conditions // Journal of Cereal Science. 2022. Vol. 104(2), Article number: 103436. DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103436
16. Hasanuzzaman M., Nahar K., Rahman A., Mahmud J., Hossain Sh., Alam K., Oku H., Fujita M. Actions of Biological Trace Elements in Plant Abiotic Stress Tolerance // Essential Plant Nutrients. Springer, Cham. 2017. P. 213–274. DOI: 10.1007/978-3-319-58841-4_10
17. Priadkina, G. O. Influence of trace elements, applied in classical and nano forms, on photosynthesis of higher plants in relation to enhancement of crop productivity // Agricultural Science and Practice. 2020. Vol. 7, № 3. DOI: 10.15407/agrisp7.03.071

18. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt // Research on Crops. 2022. Vol. 1(23), P. 40–45. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.007

19. Viljevac Vuletić M., Marček T., Španić V. Photosynthetic and antioxidative strategies of flag leaf maturation and its impact to grain yield of two field-grown wheat varieties Theoretical and Experimental // Theoretical and Experimental Plant Physiology. 2019. Vol. 31(1), P. 387–399. DOI: 10.1007 / s40626-019-00153- x

References

1. Guzenko, A.V. Vliyanie makro- i mikroudobrenii na urozhainost' i kachestvo sortov ozimoi pshenitsy [The effect of macro- and microfertilizers on productivity and quality of winter wheat varieties] // Agrokhimicheskii vestnik. 2021. № 3. S. 78–84. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-3-016

2. Guzenko, A.Yu. Issledovanie i matematicheskoe modelirovanie vliyaniya biopreparatov na urozhainost' yarovogo yachmenya v zasushlivykh usloviyakh Volgogradskoi oblasti [Research and mathematical modeling of the effect of biological products on spring barley productivity in arid conditions of the Volgograd region] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2023. № 1(69). S. 290–303. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-31

3. Evdokimova M.A., Mar'ina-Chernnykh O.G. Vliyanie regulyatorov rosta na fotosinteticheskuyu deyatel'nost' posevov yarovogo yachmenya [The effect of growth regulators on the photosynthetic activity of spring barley crops] // Vestnik Ul'yanovskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2018. № 4. S. 91–96. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-4-91-97

4. Metodiki agronomicheskikh issledovaniy: uchebno-metodicheskoe posobie [Methods of agronomic research: educational and methodological book] / M 54 sost. A.M. Lentochkin [i dr.]; otv. za vypusk A.M. Lentochkin. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKhA, 2018. 172 s.

5. Sapunkov V.L., Solonkin A.V., Guzenko A.V. Ekologicheskoe ispytanie sortov ozimoi pshenitsy «ANTs «Donskoi» v zone temno-kashtanovykh pochv Volgogradskoi oblasti [Ecological testing of winter wheat varieties by «ARC «Donskoy» in dark chestnut soils of the Volgograd region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 6(78). S. 88–94. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-88-94.6

6. Seminchenko, E.V. Fotosinteticheskii potentsial yarovogo yachmenya v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [Photosynthetic potential of spring barley in the conditions of the Lower Volga region] // Agrarnaya nauka. 2020. № 336(3). S. 63–66.

7. Filippov E. G., Dontsova A.A., Dontsov D. P., Doroshenko E. S., Bragin R. N., Zasypkina I. M. Sort yarovogo yachmenya Azimut [Spring barley variety 'Azimut'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 5. S. 91–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97

8. Filippov E. G., Dontsova A.A., Dontsov D. P. Retrospektiva selektsii yachmenya v FGBNU «ANTs «Donskoi» [Retrospective of barley breeding at the FSBRI «ARC «Donskoy»]. Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. № 2. S. 5–17. DOI: 0.31367/2079-8725-2023-85-2-5-17

9. Yagodin B.A., Deryugin I. P., Zhukov Yu. P. Praktikum po agrokhimii [Practical recommendations on agrochemistry]. Agropromizdat, 1987. 512 s.

10. Al-Ghzawi A. L. A., Al-Ajlouni Z. I., Al Sane K. O., Bsoul E. Y., Musallam I., Khalaf Y. B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqar H. Yield stability and adaptation of four spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars under rainfed // Conditions Research on Crops. 2019. Vol. 20(1), P. 10–18.

11. Aubry, S. The Future of Digital Sequence Information for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10, Article number: 1046. DOI: 10.3389/fpls.2019.01046

12. Cammarano D., Hawes C., Squire G., Holland J., Rivington M., Murgia T., Roggero P.P., Fontana F., Casa R., Ronga D. Rainfall and temperature impacts on barley (*Hordeum vulgare* L.) yield and malting quality in Scotland // Field Crops Research. 2019. Vol. 241(1), Article number: 107559. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107559

13. Guzenko A. Yu., Seminchenko E.V. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (*Hordeum vulgare*) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia // Research on Crops. 2023. Vol. 24, № 2. P. 270–275. DOI: 10.31830/2348-7542.2023.ROC_916

14. Klem K., Gargallo-Garriga A., Rattanapichai W., Oravec M., Holub P., Veselá B., Sardans J., Peñuelas J., Urban O. Distinct Morphological, Physiological, and Biochemical Responses to Light Quality in Barley Leaves and Roots // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10, Article number: 1026. DOI: 10.3389/fpls.2019.01026

15. Labidi S., Laruelle F., Tisserant B., Ben F., Lounès-Had A. Mycorrhizal biofertilization improves grain yield and quality of hulless Barley (*Hordeum vulgare* ssp. nudum L.) under water stress conditions // Journal of Cereal Science. 2022. Vol. 104(2), Article number: 103436. DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103436

16. Hasanuzzaman M., Nahar K., Rahman A., Mahmud J., Hossain Sh., Alam K., Oku H., Fujita M. Actions of Biological Trace Elements in Plant Abiotic Stress Tolerance // Essential Plant Nutrients. Springer, Cham. 2017. P. 213–274. DOI: 10.1007/978-3-319-58841-4_10

17. Priadkina, G. O. Influence of trace elements, applied in classical and nano forms, on photosynthesis of higher plants in relation to enhancement of crop productivity // Agricultural Science and Practice. 2020. Vol. 7, № 3. DOI: 10.15407/agrisp7.03.071

18. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt // Research on Crops. 2022. Vol. 1(23), P. 40–45. DOI: 10.31830/2348-7542.2022.007

19. Viljevac Vuletić M., Marček T., Španić V. Photosynthetic and antioxidative strategies of flag leaf maturation and its impact to grain yield of two field-grown wheat varieties Theoretical and Experimental // Theoretical and Experimental Plant Physiology. 2019. Vol. 31(1), P. 387–399. DOI: 10.1007 / s40626-019-00153-x

Поступила: 07.12.23; доработана после рецензирования: 11.02.24; принята к публикации: 26.02.24.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гузенко А. Ю. – отработка методики посева, анализ посевных качеств сортов в данных условиях, отработка методики по запасу питательных веществ и движению хлоропластов с помощью прибора «Экотест-2020», обработка информации, работа и корректировка данных по фотосинтетическому потенциалу каждого сорта, написание статьи; Солонкин А. В. – отработка методики технологии возделывания сортов «АНЦ Донской», руководство опытом; Донцова А. А. – предоставление семенного материала, обработка информации, а также ведение и корректировка опыта, написание статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.