

УДК 633.63

UDC 633.63

4.1.2 Селекция, семеноводство и биотехнология

4.1.2 Breeding, Seed Production, and Biotechnology

ВЛИЯНИЕ УРОВНЕЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ВЛАГИ И АЗОТА В ЛИСТОВОМ АППАРАТЕ РОДИТЕЛЬСКИХ ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ F₁ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

EFFECT OF MINERAL NUTRITION LEVELS ON THE CONTENT OF MOISTURE AND NITROGEN IN THE LEAVES OF PARENTAL LINES AND F₁ HYBRIDS OF SUGAR BEET

Дмитрова Елена Сергеевна

Аспирант

79197323800@mail.ru

SPIN-код: 4288-6779

<https://orcid.org/0009-0004-3137-6745>

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Dmitrova Elena Sergeevna

Postgraduate student

79197323800@mail.ru

RSCI SPIN-code: 4288-6779

<https://orcid.org/0009-0004-3137-6745>

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russia, Krasnodar 350044, Kalinina 13

Цаценко Людмила Владимировна

д-р. биол. наук, профессор, кафедра генетики, селекции и семеноводства

lvt-lemna@yandex.ru

SPIN-код: 2120-6510, AuthorID: 94468

<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Tsatsenko Luidmila Vladimirovna

Dr.Sci.Biol., professor, Genetics, Plant Breeding and seeds

lvt-lemna@yandex.ru

RSCI SPIN-code: 2120-6510, AuthorID: 94468

<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

Щеглов Сергей Николаевич

д-р. биол. наук, профессор

SPIN-код: 7906-7974

<https://orcid.org/0000-0003-3919-8168>

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет» 350040, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

Shcheglov Sergey Nikolaevich

Dr.Sci.Biol., Professor

RSCI SPIN-code: 7906-7974

<https://orcid.org/0000-0003-3919-8168>

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kuban State University 350040, Russian Federation, Krasnodar, 149 Stavropolskaya

Есипенко Леонид Павлович

д-р. биол. наук, доцент, кафедра фитопатологии, энтомологии и защиты растений

SPIN-код: 9362-7610, AuthorID: 177177

esipenkol@yandex.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Esipenko Leonid Pavlovich

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Phytopathology, Entomology and Plant Protection

RSCI SPIN-code: 9362-7610, AuthorID: 177177

esipenkol@yandex.ru

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, 13 Kalinina, Krasnodar, Russia

В статье представлены результаты трехлетних исследований влияния пяти фонов минерального питания на содержание влаги и азота в листовом аппарате родительских линий и гибридов F₁ сахарной свеклы. Установлено, что содержание влаги в листьях варьировало в диапазоне 5,93–8,97 %, азота – 3,00–4,39 %. Максимальная оводненность у большинства генотипов достигалась на фонах II – III (N₃₀P₃₀K₃₀ – N₆₀P₆₀K₆₀), тогда как дальнейшее повышение доз удобрений не приводило к закономерному росту показателя. Концентрация

The article presents the results of three-year studies on the effect of five mineral nutrition backgrounds on the moisture and nitrogen content in the leaves of parental lines and F₁ sugar beet hybrids. It was found that the moisture content in the leaves varied between 5.93% and 8.97%, and the nitrogen content varied between 3.00% and 4.39%. The maximum water content was achieved for most genotypes on backgrounds II – III (N₃₀P₃₀K₃₀ – N₆₀P₆₀K₆₀), while further increases in fertilizer doses did not lead to a consistent increase in the water content. The nitrogen concentration showed a

азота демонстрировала общую тенденцию к увеличению с ростом доз минерального питания, однако характер реакции (линейный, пиковый или стабильный) определялся генотипическими особенностями. Выделены формы с контрастными стратегиями адаптации: по стабильности водного статуса – МС 12169, Оп Фа, гибрид Луч. По пластичности и отзывчивости на минеральное питание – Оп Мр, МС (27038×12126), гибрид Крокус

general trend of increasing with higher doses of mineral nutrients, but the nature of the response (linear, peak, or stable) was determined by the genotypic characteristics. Forms with contrasting adaptation strategies are highlighted: for water status stability – MS 12169, Op Fa, Luch hybrid. For plasticity and responsiveness to mineral nutrition – Op Mr, MS (27038×12126), Crocus hybrid

Ключевые слова: САХАРНАЯ СВЕКЛА, РОДИТЕЛЬСКИЕ ЛИНИИ, ЛИСТОВОЙ АППАРАТ, ВЛАГА, АЗОТ, ФОНЫ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Keywords: SUGAR BEET, PARENT LINES, LEAF APPARATUS, MOISTURE, NITROGEN, AND MINERAL NUTRITION BACKGROUNDS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-220-043>

Введение

Сахарная свекла (*Beta vulgaris* L.) является одной из стратегически важных технических культур, продуктивность которой напрямую определяется эффективностью функционирования фотосинтетического аппарата и сбалансированностью метаболических процессов [1]. В системе физиологической диагностики растений ключевое место занимают показатели водного статуса и обеспеченности макроэлементами, в первую очередь азотом [2, 3]. Именно эти параметры наиболее точно отражают текущее состояние тканей и служат надежными предикторами формирования биомассы и урожайного потенциала.

Содержание влаги в листовом аппарате выступает интегральным индикатором интенсивности водообмена, уровня тургора и степени гидратации клеточных структур. Поддержание оптимальной оводненности тканей является обязательным условием для активации ферментативных систем, транспорта ассимилятов и устойчивости растений к абиотическим факторам. Отклонение водного баланса от оптимума приводит к замедлению ростовых процессов и снижению фотосинтетической активности, что делает мониторинг влажности листьев важнейшим элементом физиолого-агротехнического контроля [4, 5].

<http://ej.kubagro.ru/2026/06/pdf/43.pdf>

Параллельно с этим содержание азота в листовой ткани служит ключевым маркером нутритивного статуса растений. Являясь структурной основой белков, хлорофилла и нуклеиновых кислот, азот напрямую регулирует интенсивность фотосинтеза, развитие листовой поверхности и накопление сухой массы [6,7]. В физиологии растений хорошо изучена тесная взаимосвязь водного и азотного обмена – достаточная гидратация тканей облегчает поглощение и транспортировку нитратных форм, тогда как полноценное азотное питание усиливает осморегуляцию и водоудерживающую способность клеток. Нарушение этого баланса, особенно в условиях варьирования доз минеральных удобрений, может существенно трансформировать физиологический профиль генотипов.

Несмотря на признанную значимость данных показателей, комплексные исследования, одновременно оценивающие динамику оводненности и аккумуляции азота в листовом аппарате сахарной свеклы у разных генотипов на изменяющихся фонах минерального питания, остаются недостаточно изученной.

Цель исследования. Выявить закономерности формирования водно-азотного статуса листового аппарата у родительских линий и гибридов первого поколения сахарной свеклы в условиях пяти фонов минерального питания для обоснования их использования в селекционном процессе и оптимизации систем удобрения.

Задачи исследования:

1. Оценить влияние пяти фонов минерального питания на динамику содержания влаги и азота в листьях изучаемых генотипов сахарной свеклы в период вегетации.
2. Провести сравнительный анализ реакции материнских линий, отцовских компонентов и гибридов первого поколения на изменение агрофона.

3. Выделить формы с выраженной стабильностью и высокой пластичностью по показателям гидратации тканей и азотного накопления.

Материалы и методы

В ходе научно-исследовательской работы, реализованной в 2023–2025 гг., экспериментальные мероприятия осуществлялись комплексно: в лабораторных условиях и в полевых опытах на базе ФГБНУ «Первомайская селекционно-опытная станция сахарной свеклы». Структурная организация эксперимента отражена на рисунке 1.

Общая схема всего полевого опыта

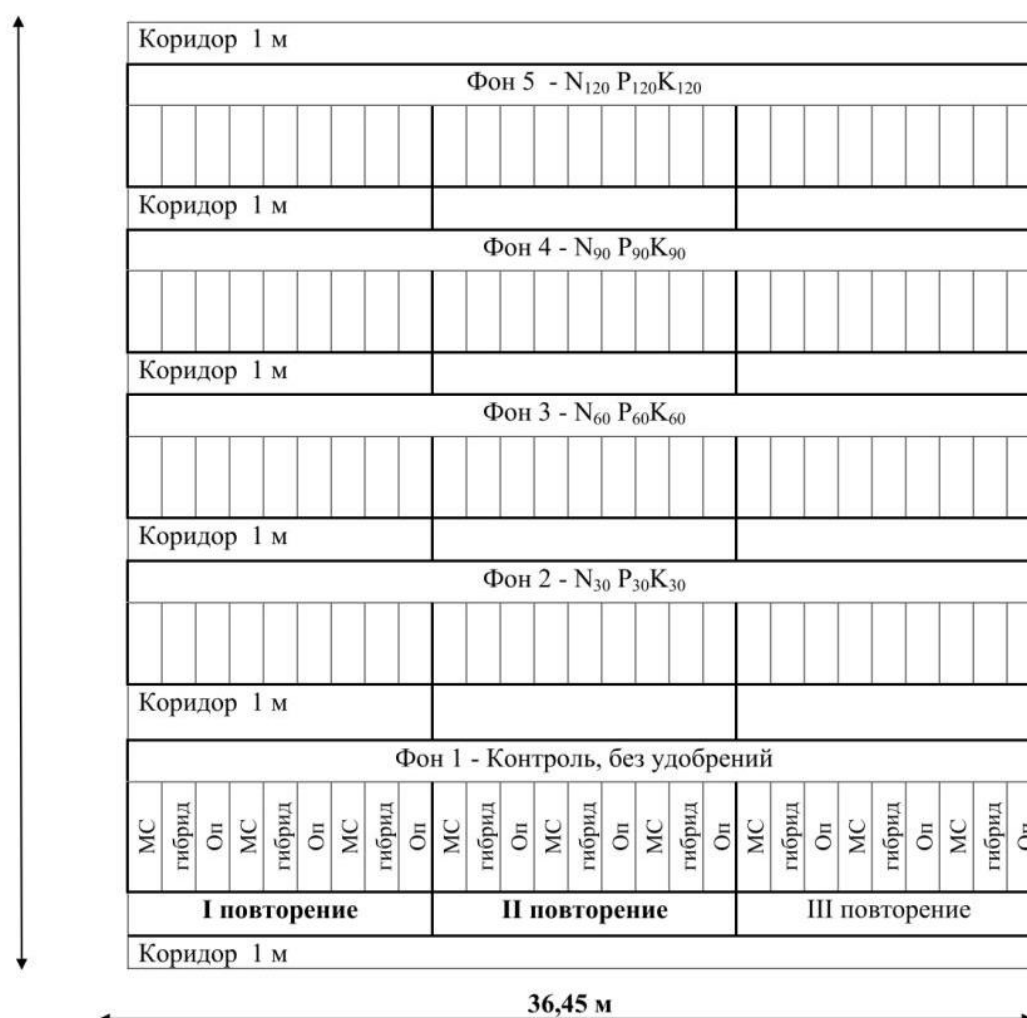


Рисунок 1 – Общая схема опыта

Варианты минерального питания, включенные в схему опыта:

Фон I (контрольный) – без внесения минеральных удобрений;

Фон II – $N_{30}P_{30}K_{30}$;

Фон III – $N_{60}P_{60}K_{60}$;

Фон IV – $N_{90}P_{90}K_{90}$;

Фон V – $N_{120}P_{120}K_{120}$.

Объекты исследования:

Гибриды F₁: Первомайский, Крокус, Луч;

Материнские линии (МС): МС (11348×11301), МС (27038×12126), МС 12169;

Отцовские линии (Оп): Оп 6279, Оп Фа, Оп Мр.

Средние многолетние данные температуры составляют 10,7 °С, однако за анализируемые годы произошел последовательный рост - 14,6°С в 2023 году, 15,5°С в 2024-м и 16,5°С в 2025 году, что демонстрирует стабильное увеличение температурных значений. Наибольшее повышение температуры отмечалось зимой (январь-февраль) и летом (июль-август).

Исследование изменений количества атмосферных осадков за период 2023–2025 годов показало значительные изменения относительно климатических норм и заметные межгодовые отличия. Самым влажным годом стал 2023-й, когда количество осадков составило 607,2 мм, близко подходя к средним многолетним значениям (585,2 мм). Краткая характеристика по годам: в 2025-м зафиксировали лишь 352,1 мм осадков (примерно 60% от среднего показателя), а в 2024 году отмечена минимальная величина – всего 260 мм (чуть больше 44% от средней нормы), из-за чего тот год был признан чрезвычайно засушливым.

Высокие температуры воздуха вместе с критическим недостатком воды на протяжении трех лет сформировали неблагоприятную стрессовую среду для роста и развития сахарной свеклы.

Результаты исследований. Во время активного роста растения наиболее важным показателем физиологического статуса является баланс водного обмена и интенсивность метаболизма. Эти показатели мы исследовали в рамках полевых экспериментов в течение 2023-2025 годов (таблица 1).

Таблица 1 – Влажность листьев сахарной свеклы в среднем за 2023–2025 гг., %

Селекционный материал	Фон I (контроль, без удобрений)	Фон II (N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀)	Фон III (N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀)	Фон IV (N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀)	Фон V (N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀)	Сред. по генотипу
Первомайский	5,93	6,57	6,30	6,00	7,13	6,39
МС (27038х12126)	6,23	7,87	6,63	6,60	7,33	6,93
Оп 6279	6,67	6,80	8,27	7,20	6,70	7,13
Крокус	6,63	6,40	6,80	6,23	6,57	6,53
МС 12169	6,53	7,00	7,07	6,97	6,33	6,78
Оп Фа	6,97	7,20	7,03	7,10	7,03	7,07
Луч	7,60	8,07	7,53	7,67	7,67	7,71
МС (11348х11301)	7,30	7,60	7,50	8,07	7,77	7,65
Оп Мр	7,53	7,87	8,97	7,90	7,34	7,92
Среднее по фону	6,82	7,26	7,34	7,08	7,10	7,12
НСР ₀₅ (%)	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,21

* Примечание – НСР₀₅ для сравнения генотипов (по столбцу среднее по генотипу) = 0,21%, НСР₀₅ для сравнения фонов (по строке Среднее по фону) = 0,26%, НСР₀₅ для сравнения отдельных комбинаций генотип × фон = 0,51%

Из данных, представленных в таблице 1, видно, что содержание влаги в листьях сахарной свеклы варьировалось от 5,93% до 8,97%. Значение данного показателя зависело как от генетических особенностей линий и гибридов, так и от количества вносимых минеральных удобрений. Изучение родительских линий показало, что наиболее восприимчивым генотипом к воздействию удобрений оказалась линия МС (27038×12126). Минимальная влажность листьев составила здесь 6,23%, тогда как максимальная достигала 7,87% при подкормке азотом, фосфором и калием в дозировке N₃₀P₃₀K₃₀. Таким образом, эта линия отличается повышенной чувствительностью даже к незначительным количествам питательных веществ. У линии МС (11348×11301) наблюдались стабильно высокие показатели содержания воды в листе (от 7,30% до 8,07%), причем максимальное значение (8,07%) было зафиксировано при применении четвертого варианта удобрений (N₉₀P₉₀K₉₀). Что касается материнской

линии МС 12169, то она характеризуется устойчивостью значений уровня влаги в диапазоне от 6,3% до 7,1%, который практически не изменяется вне зависимости от условий минерального питания растений.

Максимальное значение влаги в листьях сахарной свеклы среди отцовских компонентов отмечен у линии Оп Мр – 8,97 % на фоне III ($N_{60}P_{60}K_{60}$). Оп 6279 также отреагировал повышением влажности на фоне III 8,27 %, однако при переходе к более высоким дозам (фон IV и фон V) показатель снижался до 6,70–7,20 %. У отцовского компонента Оп Фа все значения лежат в пределах 7,0–7,2 %, что говорит о его стабильности в накоплении влаги в листовом аппарате.

Среди гибридов первого поколения выделился гибрид Луч – его листья стабильно хорошо оводнены 7,5–8,1 % на всех фонах. Крокус, напротив, поддерживает умеренную влажность 6,2–6,8 %, а у гибрида Первомайский наблюдается снижение содержания влаги на контроле 5,9 %, но на высоких фонах приближается к средним значениям – 7,1 %.

Практическая значимость полученных результатов определяется выявленными закономерностями реакции изучаемого селекционного материала на уровень минерального питания. Наиболее стабильными по показателю влажности листьев оказались гибрид Крокус и материнская линия МС 12169, так как они показали минимальный разброс показателя 6,23–6,80 % и 6,33–7,07 % соответственно. Однако отцовские компоненты – Оп Мр и Оп 6279 проявили отзывчивость на внесение удобрений, что подтверждается существенным взаимодействием факторов «генотип × фон» и широким диапазоном изменения показателя (7,34–8,97 % и 6,70–8,27 % соответственно). На основании комплексной оценки оптимальным режимом питания для большинства изучаемых селекционных материалов является фон III ($N_{60}P_{60}K_{60}$), обеспечивающий наиболее сбалансированное соотношение между продуктивностью растений и физиологическим состоянием листового аппарата.

Степень насыщенности листьев водой отражает активность водообмена растения, тогда как содержание азота в тканях листа является объективным показателем доступности данного важного элемента питания. Азот непосредственно регулирует процессы фотосинтеза и синтез биомассы, определяя таким образом возможный уровень урожайности культуры (рисунок 2).

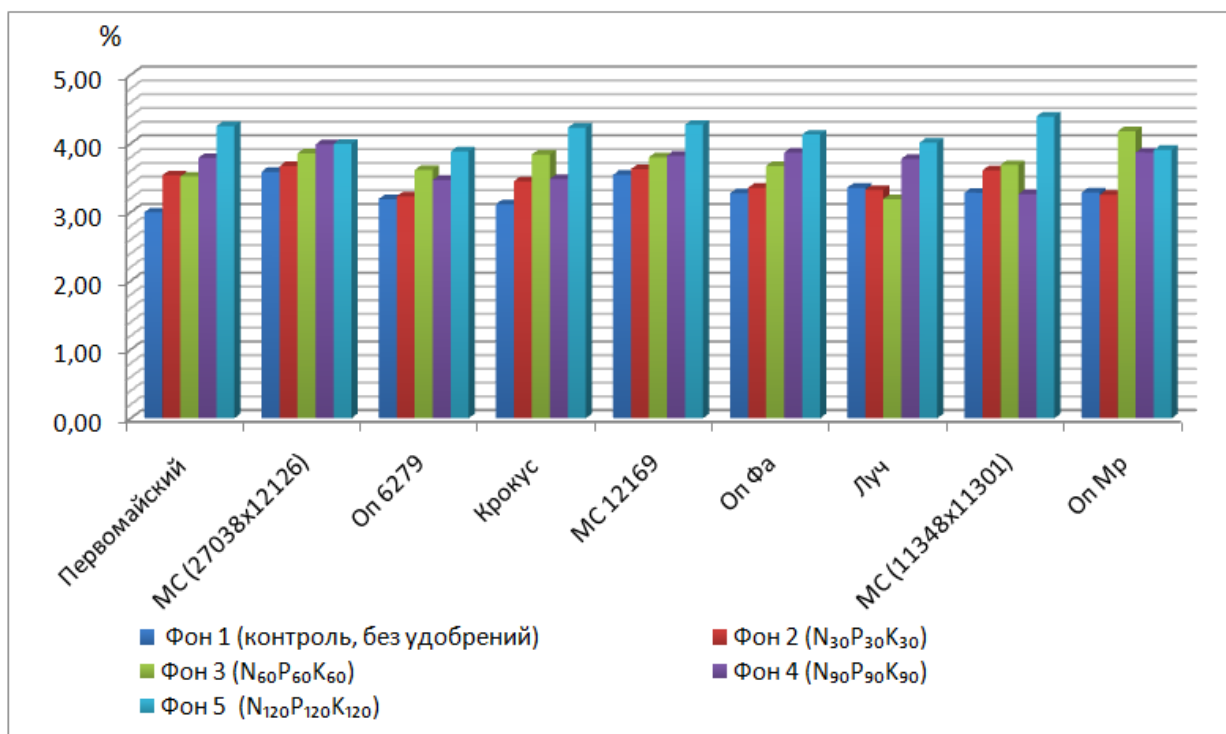


Рисунок 2 – Среднее содержание азота в листовом аппарате сахарной свеклы за 2023–2025 гг., %

Содержание азота в листьях сахарной свеклы линии МС (11348×11301) варьируется от минимального значения 3,26% на агрофоне IV (с дозировкой N₉₀P₉₀K₉₀) до максимального показателя 4,39% на агрофоне V (с дозировкой N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀). Родительская линия МС (27038×12126) отличается стабильно низким уровнем азотного накопления, увеличиваясь незначительно с 3,59% до 3,99%. Для линии МС 12169 характерно постепенное повышение уровня азота от 3,54% на агрофоне I до 4,27% на агрофоне V, что подтверждает ее способность равномерно усваивать питательные вещества.

Отцовские линии характеризовались пиковым накоплением азота 4,18 % у линии Оп Мр на фоне III, при этом минимальный показатель 3,19 % принадлежит линии Оп 6279 на фоне I (контроль, без удобрений). Отцовская линия Оп Фа показала монотонный рост содержания азота от 3,28 % на контроле до 4,13 % на фоне V без существенных колебаний.

Среди гибридов минимальное содержание азота составило – 3,00 % и зафиксировано у гибрида Первомайский на фоне I (контроль, без применения удобрений), а так же максимальное значение – 4,25 % наблюдалось на фоне V ($N_{120}P_{120}K_{120}$). Гибрид Луч отличался нелинейной динамикой – минимальное значение 3,19 % зафиксировано на фоне III, после чего показатель возрастал до 4,01 % на фоне V. Гибрид Крокус показал широкий диапазон варьирования от 3,11 % до 4,23 %, что указывает на высокую пластичность по признаку азотного накопления.

Выводы.

1. Содержание влаги в листовом аппарате варьировало от 5,93 до 8,97 % и определялось как генотипом, так и уровнем минерального питания. Максимальная гидратация тканей у большинства генотипов достигалась на фоне II ($N_{30}P_{30}K_{30}$) и фоне III ($N_{60}P_{60}K_{60}$), тогда как дальнейшее повышение доз удобрений не приводило к закономерному росту оводненности, а в ряде случаев вызывало ее снижение. Концентрация азота в листьях находилась в диапазоне 3,00–4,39 %. Общей тенденцией являлось повышение содержания азота при увеличении дозы минеральных удобрений, однако характер динамики (линейный, пиковый или стабильный) зависел от генотипа.

2. Линия МС (11348×11301) выделяется значительным содержанием влаги в листьях – от 7,30% до 8,07%, а также широкими пределами накопленного азота – от 3,26% до 4,39%. Линия МС показала рост оводненности при малых дозах удобрений, а МС 12169 – стабильность влажности и содержания азота. Линия Оп Мр была наиболее влажной и

содержала больше всего азота, отцовская линия Оп 6279 увеличивала влажность листьев на третьем агрофоне. У линии Оп Фа влажность стабильна, содержание азота растет с уровнем удобрений. Гибрид Луч стабильно обеспечен водой, Крокус адаптивен к азоту, Первомайский сильнее всех меняет влажность при смене уровня удобрений.

3. Проведенный анализ адаптивности разделил изученные гибриды на два основных класса. Гомеостатичными формами, слабо зависящими от условий агрохимического фона, оказались: по содержанию влаги – МС 12169, Оп Фа и гибрид Крокус; по азоту – родительский сорт МС (27038×12126). К группе высокопластичных, активно реагирующих повышением метаболизма на улучшение питательного режима относятся: по увлажнению – Оп Мр, Оп 6279 и МС (27038×12126); по азоту – гибрид Крокус, МС (11348×11301) и МС 12169. Гибрид Луч обладает сочетанием стабильно высокого водного баланса и умеренного роста количества азота, что позволяет рассматривать его как оптимальный вариант для районов с непредсказуемым климатом и недостатком осадков.

Список литературы

1. Борисов В.Н., Петров А.И. Селекционные методы в создании высокоурожайных гибридов сахарной свеклы / В.Н. Борисов, А.И. Петров // Селекция и семеноводство. – 2020. – С. 34–38.
2. Горяйнов, А. Здоровье листового аппарата - главный фактор успешного возделывания сахарной свеклы / А. Горяйнов, С. Иосифов, С. Земцов // Сахарная свекла. – 2020. – № 8. – С. 15-21.
3. Дмитрова, Е. С. Оценка перспективных генотипов сахарной свеклы отечественной селекции в условиях интенсивного минерального питания / Е. С. Дмитрова, Л. В. Цаценко // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии, инновации : Материалы Международной конференции. В 3-х частях, Пермь, 10–14 ноября 2025 года. – Пермь: ИПЦ "Прокрость", 2025. – С. 19-23.
4. Дмитрова, Е. С. Влияние различных агрофонов на родительские линии и гибриды F1 сахарной свеклы отечественной селекции / Е. С. Дмитрова, Л. В. Цаценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 201. – С. 340-350. – DOI 10.21515/1990-4665-201-032.
5. Дмитрова, Е. С. Технологические качества родительских линий сахарной свеклы / Е. С. Дмитрова, Л. В. Цаценко // Современные векторы развития науки : Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции

преподавателей по итогам НИР за 2023 год, Краснодар, 06 февраля 2024 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. – С. 14-16.

6. Полевщиков, С. И. Влияние площади листовой поверхности на продуктивность сахарной свеклы / С. И. Полевщиков, И. П. Заволока // Сахарная свекла. – 2010. – № 9. – С. 15-17.

7. Семина, С. А. Особенности формирования листового аппарата сахарной свеклы при применении инновационных удобрений / С. А. Семина, Е. В. Жеряков, И. С. Жеряков // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : Сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 02–03 ноября 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 256-260.

References

1. Borisov V.N., Petrov A.I. Selekcionnye metody v sozdanii vysokourozhajnyh gibridov saharnoj svekly / V.N. Borisov, A.I. Petrov // Selekcija i semenovodstvo.– 2020.– S. 34–38.

2. Goryajnov, A. Zdorov'e listovogo apparata - glavnyj faktor uspehnogo vozdeystvija saharnoj svekly / A. Goryajnov, S. Iosifov, S. Zemcov // Saharnaya svekla. – 2020. – № 8. – S. 15-21.

3. Dmitrova, E. S. Ocenka perspektivnyh genotipov saharnoj svekly otechestvennoj selekcii v usloviyah intensivnogo mineral'nogo pitaniya / E. S. Dmitrova, L. V. Cacenko // Agrotekhnologii XXI veka: strategiya razvitiya, tekhnologii, innovacii : Materialy Mezhdunarodnoj konferencii. V 3-h chastyah, Perm', 10–14 noyabrya 2025 goda. – Perm': IPC "Prokrost", 2025. – S. 19-23.

4. Dmitrova, E. S. Vliyanie razlichnyh agrofonov na roditel'skie linii i gibridy F1 saharnoj svekly otechestvennoj selekcii / E. S. Dmitrova, L. V. Cacenko // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 201. – S. 340-350. – DOI 10.21515/1990-4665-201-032.

5. Dmitrova, E. S. Tekhnologicheskie kachestva roditel'skih linii saharnoj svekly / E. S. Dmitrova, L. V. Cacenko // Sovremennye vektory razvitiya nauki : Sbornik statej po materialam ezhegodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii prepodavatelej po itogam NIR za 2023 god, Krasnodar, 06 fevralya 2024 goda. – Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina, 2024. – S. 14-16.

6. Polevshchikov, S. I. Vliyanie ploshchadi listovoj poverhnosti na produktivnost' saharnoj svekly / S. I. Polevshchikov, I. P. Zavoloka // Saharnaya svekla. – 2010. – № 9. – S. 15-17.

7. Semina, S. A. Osobennosti formirovaniya listovogo apparata saharnoj svekly pri primenenii innovacionnyh udobrenij / S. A. Semina, E. V. Zheryakov, I. S. Zheryakov // Agropromyshlennyj kompleks: sostoyanie, problemy, perspektivy : Sbornik statej XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 02–03 noyabrya 2023 goda. – Penza: Penzenskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2023. – S. 256-260.