

УДК 631.42: 633.9

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.247>

Адаптационный потенциал культуры *Miscanthus* в условиях солонцового агроландшафта

© 2024 Н. И. Добротворская ¹, С. Ю. Капустянчик ²

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», ул. Плеханова, 10, г. Новосибирск, 630054, Россия. E-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

²Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, ул. С-200, зд. 5/1, а/я 375, Новосибирская обл., р.п. Крснообск, 630501, Россия. E-mail: kapustyanchik@bionet.nsc.ru

Цель исследования. В статье рассмотрена экологическая адаптивность *Miscanthus* сорта Сорановский к засоленным агроландшафтам и его фитомелиоративное влияние на засоленные почвы.

Место и время проведения. Экспериментальная часть исследований выполнена в центрально-лесостепном Барабинском агроландшафтном районе (Научная экспериментальная база Сибирского федерального центра агробиотехнологий СО РАН) в 2018–2020 гг.

Методы. В исследовании использованы методы полевого и вегетационного опыта, химического анализа почв и растительных образцов по общепринятым методикам, статистической обработки данных по Доспехову с использованием методики ВНИИ кормов.

Основные результаты. Исследования показали, что *Miscanthus* может произрастать на солонцовых почвах, обеспечивая урожай биомассы до 5 т/га при засушливых условиях вегетационного периода. Отчуждение из почвы питательных элементов биомассой стеблей *Miscanthus* является невысоким (азота – 8,2, фосфора – 1,4, калия – 9,7 кг/га в год) вследствие ежегодной реутилизации их в корневища, что позволяет избежать опасности истощения почв при многолетнем выращивании культуры. Выращивание *Miscanthus* на лугово-чернозёмном солонце в течение трёх лет привело к изменению свойств почвы: снижению pH; изменению химизма солей в почвенном растворе, проявляющемся в снижении содержания соды.

Заключение. Результаты проведённых исследований показали, что культура *Miscanthus* обладает широкими адаптационными возможностями применительно к малоплодородным землям солонцовой зоны Западной Сибири. Посадки *Miscanthus* оказывают благоприятное средообразующее влияние на солонцовые почвы, благодаря обогащению почв элементами минерального питания и улучшению их химических свойств.

Ключевые слова: *Miscanthus*; солеустойчивость; солонцовые почвы; биомасса; элементы минерального питания.

Цитирование: Добротворская Н.И., Капустянчик С.Ю. Адаптационный потенциал культуры *Miscanthus* в условиях солонцового агроландшафта // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 2. e247. DOI: [10.31251/pos.v7i2.247](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.247)

ВВЕДЕНИЕ

Солеустойчивость растений – актуальная проблема в растениеводстве. Необходимость её изучения связана с наличием больших площадей засоленных почв, включая солонцы, не только в России, но и во многих странах (Zheng et al., 2022). В России солонцовые комплексы сосредоточены в семи экономических районах (Центрально-Черноземном, Поволжском, Северо-Кавказском, Уральском, Западно-Сибирском, Восточно-Сибирском и Дальневосточном) и 37 административных областях. Наибольшую площадь почвы солонцовых комплексов занимают в Волгоградской области, Калмыкии, Курганской и Новосибирской областях (Панов, 2008).

На территории юга Западной Сибири наибольшее распространение солонцовые агроландшафты получили в Барабинской равнине, как результат специфической истории почвообразования, связанной с трансгрессией моря в третичном периоде и аккумуляцией толщи засоленных глин, являющихся в настоящее время одним из факторов формирования засоленных ландшафтов. Общая их площадь в Новосибирской области составляет 3686,2 тыс. га. В отдельных административных районах на их долю приходится более 70% территории (Каргатский, Доволенский, Чановский, Карасукский, Купинский, Чистоозерный). Несмотря на огромные площади, они обеспечивают всего 20–25% всех потребностей животноводства в кормах, что, прежде всего, связано с низкой продуктивностью естественных фитоценозов (1,0–3,0 ц/га сухой массы в степи и 3,0–5,0 ц/га в лесостепи) (Константинов, Ломова, 2007).

Основным приёмом борьбы с засолением почв является применение мелиоративных и агротехнических мероприятий, улучшающих физико-химические и биологические свойства почв. Большое внимание должно быть уделено не только изменению свойств почв, но и биологическим свойствам растений, повышению их солеустойчивости. Изучение солеустойчивости растений начато ещё в середине XX века работами Б.П. Строгонова, П.А. Генкеля, Г.Р. Матухина. Известно, что злаковые и бобовые соле- и солонцеустойчивые растения способны рассолить засоленные почвы. В частности, на солонцовых почвах с помощью жизнедеятельности растений можно создать условия, приводящие к образованию зональной почвы. Это достигается путём доминирования процессов биологической фитомелиорации над процессами засоления. Такая биологическая трансформация в условиях Западной Сибири приводит к образованию лугово-чернозёмных почв различной степени солонцеватости и солончаковатости (Орловский, 1937). При смене растительности может изменяться и почвенный покров. Например, переход от солянок и полыней на солонцах к бобовым и злаковым травам сопровождается перераспределением в почвенном профиле солей и зольных химических элементов, в частности кальция. Накопление кальция в верхних горизонтах почвы неизбежно ведёт к вытеснению натрия из почвенного поглощающего комплекса и рассолению солонцов – этот процесс В.А. Ковда (1973) назвал «остепнением». Процесс остепнения солонцов в естественных условиях может длиться веками, а в искусственных – сокращается до нескольких лет (Орловский, 1946). Выращивание солевыносливых и натрифилных культурных растений рекомендуется исследователями для осуществления фитомелиорации засоленных агроландшафтов (Константинов, Ломова, 2007). Таким образом, для рассоления солонцовых почв нужно активизировать процесс биологической трансформации, правильно подобрав культуры, которые должны обладать следующими качествами: быть соле- и засухоустойчивыми, а также активно участвовать в процессах биологической аккумуляции питательных элементов.

Miscanthus sacchariflorus известен как многолетняя злаковая культура, выращиваемая для технических и энергетических целей. Большой объём ежегодно производимой биомассы, особенности биологического круговорота зольных химических элементов, углерода и азота ставят эту культуру в ряд перспективных в стратегии экологизации растениеводства и земледелия. Сегодня как никогда актуальны исследования по оценке современного потенциала наземных экосистем депонировать углерод, а также разработка научно-обоснованных мер по увеличению углеродпоглощающей ёмкости основных резервуаров биогенного цикла углерода (Нечаева, 2023). Количество использования углекислого газа из атмосферы и накопления углерода в посадках таких культур, как *Miscanthus*, составляет 0,9–2,2 г С/кг почвы в год, что соответствует показателям на многолетних пастбищах (Emmerling, Pude, 2017).

Органическое вещество почвы играет большую роль в обеспечении плодородия почвы, поскольку оно выполняет жизненно важные функции экосистемы, такие как формирование структуры почвы и водоудерживающей способности, аккумуляцию питательных веществ (Schmidt et al., 2011). Зарубежными исследователями сообщалось, что выращивание *Miscanthus* может увеличить запасы органического углерода в почве на различных маргинальных землях, включая деградированные пастбища и заброшенные сельскохозяйственные угодья (Chen et al., 2020; Zhao C. et al., 2020; Xu et al., 2021).

Что касается адаптации культуры к природным условиям, то многие исследователи считают данную культуру способной производить высокую биомассу в различных по климатическим условиям регионах, делая ее идеальной в качестве возобновляемых источников энергии (McCalmont et al., 2017; Kalinina et al., 2017). В настоящее время основные площади посадок этого растения расположены преимущественно в странах со среднегодовой температурой воздуха выше +5 ...+10 °С и суммой осадков за год не менее 600 мм (Северная Америка, Европа). Отличительная особенность *M. saccharifloru* сорта Сорановский – образование очень длинных корневищ, быстро колонизирующих свободное пространство. В результате за короткий период формируется сплошная ровная плантация, успешно конкурирующая с сорной растительностью. Как многолетнее растение со специфической корневой системой, способное произрастать длительное время на низко продуктивных землях, обеспечивая более высокую экономическую отдачу от используемых угодий, данный вид мог бы применяться в качестве фитомелиорирующей культуры наряду с такими известными фитомелиорантами как донник, люцерна, суданская трава. В масштабах России, оценка перспективности возделывания *M. sacchariflorus* и его средоулучшающих свойств на солонцовых почвах позволит расширить зону его выращивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная часть исследований выполнена на опытном участке научной экспериментальной базы Сибирского федерального центра агроботехнологий СО РАН, расположенной в центрально-лесостепном Барабинском агроландшафтном районе (55°23'17,3" с.ш., 76°55'37,7" в.д.) согласно районированию СибНИИЗХим (Адаптивно-ландшафтные системы..., 2002). Центрально-лесостепной Барабинский агроландшафтный район характеризуется малосолонцовыми землями на плоских слабодренированных равнинах с преобладанием тяжёлосуглинистых и глинистых лугово-чернозёмных, чернозёмно-луговых солонцеватых почв (Gleyic Chernozems (Oligonatric)) и чернозёмов обыкновенных солонцеватых (Calcic Chernozems (Oligonatric)). Следует отметить, что ресурсы теплообеспеченности и увлажнения значительно изменяются от года к году. Это проявляется в виде различных типов увлажнения вегетационных периодов (табл. 1).

Таблица 1

Агроклиматическая характеристика и пространственно-временная изменчивость ресурсов увлажнения центрально-лесостепного Барабинского агроландшафтного района

Тип увлажнения	Среднегодовое параметры увлажнения			Коэффициент увлажнения (K_y)	Повторяемость лет с типом увлажнения, %
	$\sum t > 10^\circ$	Осадки по периодам, мм			
		O_{09-08} (Год)	O_{05-08}		
Умеренно переувлажненный	<1630	>500	>260	>1,27	15
Умеренно увлажненный	1630-1770	380-400	210-260	1,0-1,27	25
Умеренно дефицитный	1770-1860	330-380	180-210	0,79-1,00	20
Дефицитный	1860-2060	270-330	140-180	0,58-0,79	25
Острозасушливый	2060-2160	<270	<140	<0,58	15

Примечание.

$\sum t > 10^\circ$ – сумма температур выше 10 °С. O_{09-08} , O_{05-08} – сумма осадков за соответствующие месяцы, мм. $K_y = O / 0,177 \sum t > 0^\circ$ – отношение годовых осадков к произведению суммы температур выше 0° и эмпирического коэффициента испаряемости 0,177 (Понько, 2012).

Экспериментальный участок находится в южной части Барабинской низменности на территории Причановской эрозивно-аккумулятивной равнины. По данным АМС «Чаны» гидротермические условия лет исследования (2018–2020 гг.) были контрастными (рис. 1).

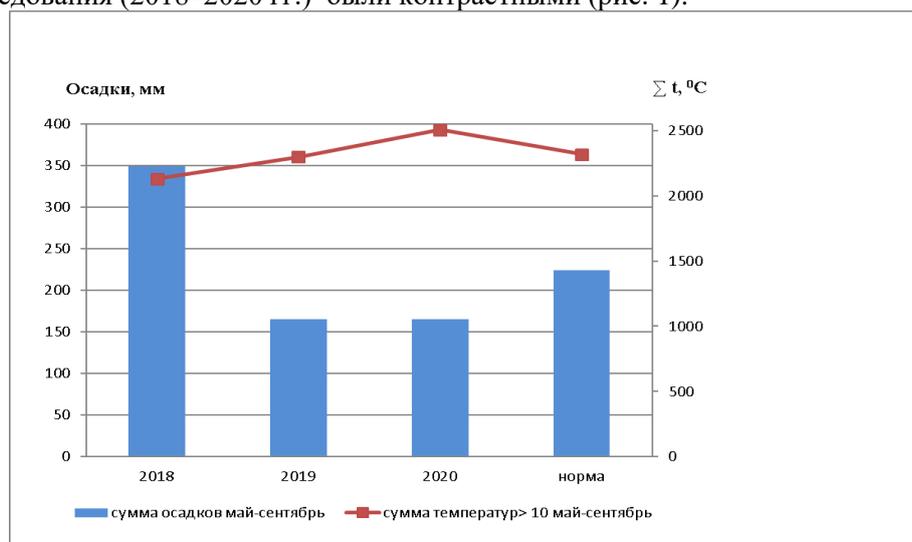


Рисунок 1. Агрометеорологическая характеристика вегетационного периода лет исследований.

Годовая сумма осадков имела следующие значения: 2018 г. – 526 мм, 2019 г. – 324 мм, 2020 г. – 340 мм при среднегодовом норме 385 мм. В условиях континентального климата для развития растений важно распределение осадков в течение вегетационного периода. По данным АМС в вегетационные периоды (май – сентябрь) в 2018, 2019 и 2020 гг. сумма осадков составила 349, 165 и

165 мм, сумма температур 2132, 2299, 2506 °С, соответственно, при среднемноголетних значениях 224 мм и 2319 °С (см. рис. 1).

Несмотря на дефицитное количество осадков в феврале и декабре 2018 года, вегетационный период характеризовался благоприятными условиями по увлажнению: в мае и августе 2018 г. отмечено 75 и 114 мм. Напротив, в мае-августе 2019 и 2020 годов количество осадков было существенно ниже нормы (за исключением июня). Анализ гидротермического коэффициента (ГТК) за вегетационный период показал, что 2018 г. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 0,9) был увлажненным, а 2019 и 2020 гг. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 0,4) следует отнести к остродефицитным. Это обстоятельство позволило наблюдать особенности развития *M. sacchariflorus* сорта Сорановский в нормальных и экстремальных метеоусловиях.

Почвенный покров территории проведения исследований характеризуется господством комплексов луговых солонцов (Gleyic Solonetz), луговых и лугово-чернозёмных солонцеватых (Gleyic Chernozems (OligoNatric)) почв, преимущественно тяжёлосуглинистых и глинистых (Siltic Clayic Loamic), приуроченных к широким межгрядным пространствам. На редких гривах почвенный покров представлен чернозёмами обыкновенными среднемоющими среднегумусными (Calcic Chernozems) более легкого гранулометрического состава.

Опыт с *M. sacchariflorus* проведён на территории опытного участка Института СибНИИКормов, заложенного в 1987 году для изучения влияния агротехнических приёмов на продуктивность естественных кормовых угодий и плодородие почв. Морфологическое описание почвы приводится по данным Реестра длительных стационарных ... (2009).

Характеристика почвы опытного участка: солонец лугово-чернозёмный содово-сульфатный средний (Gleyic Solonetz (Clayic)) тяжёлосуглинистый; мощность гумусового горизонта составила 16–18 см, глубина вскипания карбонатов от 10% HCl – 34 см, глубина залегания грунтовых вод – 4 м.

A	0–16 см	Тёмно-серый, рыхлый, комковато-зернистая структура, влажный, корни растений, тяжёлосуглинистый;
B ₁	16–34 см	Тёмно-серый, буроватый оттенок, неоднородно окрашенный, пятна оржавлений, столбчато-ореховатая структура, глянec на гранях структурных отдельностей, единичные крупные корни растений;
B ₂	34–54 см	Серый с переходом в бурый, неоднородный, значительные вкрапления оржавлений, плотный, ореховатая структура, глянec на гранях, влажный, глинистый;
B ₃	54–59 см	Грязно-бурый, неоднородный, значительные пятна карбонатов и ржавчины, плотный, влажный;
BC	59–81 см	Серо-бурый с грязными гумусовыми подтеками, ржавые прикорневые конкреции, оглеение, влажный, плотный, глинистый;
C	81–100 см	Буровато-жёлтый, карбонатный, свежий, плотный.

Агрохимическая характеристика исходного состояния почвы участка приводится также по данным Реестра длительных стационарных ... (2009), дополненным данными М.Д. Константинова и М.А. Кухарь (2007) (табл. 2).

Таблица 2

Агрохимическая характеристика солонца лугово-чернозёмного содово-сульфатного среднего (Gleyic Solonetz (Clayic))

Показатели	Слой почвы	
	0–20	20–40
Гумус, %	6,0	–
pH _{H2O}	6,2	8,4
S, ммоль/100 г почвы	24,6	21,6
P ₂ O ₅ подв, мг/кг почвы по Мачигину	60–80	
K ₂ O _{обм.} , мг/кг почвы по Мачигину	40–50	
Обменный натрий, % от суммы поглощённых оснований	28,5	34,4
Плотный остаток, %	0,129	0,224

Примечание.

Прочерк в таблице означает отсутствие данных.

Как видно из данных в таблице 2, содержание питательных элементов в почве среднее, реакция почвенного раствора в верхнем слое почвы нейтральная.

Опыт заложен в четырёхкратной повторности, размер каждой делянки 2,5×5,0 метров, дорожки между делянками – 0,7 м. Количество рядков на делянке – 4, расстояние между рядками 50 см. Общая площадь опытного участка 64 м².

Цель опыта – оценить экологическую адаптивность *M. sacchariflorus* сорта Сорановский к засоленным агроландшафтам и его фитомелиоративное влияние на засоленные почвы.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить продуктивность *M. sacchariflorus* на засоленных (солонцовых) почвах.
2. Выявить влияние *M. sacchariflorus* на обеспеченность почв элементами минерального питания.
3. Выявить фитомелиорирующее влияние *M. sacchariflorus* на свойства солонцовых почв.

Наблюдаемые параметры: морфологические признаки (длина генеративного побега, густота стеблестоя) и продуктивность надземной и подземной биомассы; динамика содержания элементов минерального питания в почве агроценоза *M. sacchariflorus* по годам исследований; содержание в почве обменного натрия, водорастворимых солей, щелочность почвенного раствора.

Методика проведения наблюдений. Ежегодно весной (в мае) и осенью (в конце сентября – начале октября) отбирали почвенные образцы из слоя 0–20 см массой 200 г в двух повторностях на содержание подвижных форм NPK. Ежегодно в конце вегетации проводили отбор биомассы с каждого варианта для структурного анализа и оценки химического состава растений по содержанию азота, фосфора, калия и натрия. Площадь учетной делянки составила 0,25 м² в четырёх повторностях. Содержание обменного натрия определяли по ГОСТ 26950; легкорастворимые соли (карбонаты и бикарбонаты) – по ГОСТ 26424, хлорид-ионы – по ГОСТ 26425, сульфат-ионы – по ГОСТ 26426, обменные кальций и магний – по ГОСТ 26428; pH почвенного раствора в водной вытяжке – по ГОСТ 26423. Содержание нитратного азота в почве определяли по ГОСТ 26951-86, подвижный фосфор и обменный калий извлекали 0,5 М раствором уксусной кислоты по Чирикову в модификации ЦИНАО. Оценку результатов опытов проводили согласно методическим рекомендациям Б.А. Доспехова (1985), а также методике ВНИИ кормов (Методические указания..., 2007).

Кроме того, был заложен вегетационный опыт по выявлению отношения культуры к различным уровням засоления почв и величине pH. **Цель опыта** – провести сравнительную оценку почвенного потенциала для интродукции *M. sacchariflorus* в засоленные агроландшафты.

Задачи опыта:

1. Оценить развитие растений на различных по степени засоления почвах;
2. Определить накопление элементов NPK и Na в побегах и корневищах растений;
3. Оценить изменение содержания нитратного азота, подвижных форм фосфора и обменного калия в почве под растениями *M. sacchariflorus*.

Наблюдаемые параметры: 1. В растениях – динамика количества и длины побегов; масса растений (надземная и подземная части) в конце вегетации; содержание минеральных элементов (NPK) в надземной и подземной биомассе в конце вегетации; 2. В почве – содержание и состав водорастворимых солей в водной вытяжке до и после вегетации мискантуса, содержание гумуса по И.В. Тюрину и обменных катионов.

Схема опыта включала в себя следующие варианты:

1. Лугово-чернозёмная слабосолонцеватая почва (Gleyic Chernozems (Oligonatric)) (центральная Бараба) – (контроль);
2. Солонец лугово-чернозёмный глубокий (Gleyic Solonetz (Humic)) (центральная Бараба);
3. Солонец лугово-чернозёмный корковый (Gleyic Solonetz (Ochric, Sodic)) (центральная Бараба);
4. Аллювиальная слоистая слаборазвитая солончаковая почва (Episalic Fluvisols (Alcalic, Sodic)) (Причановская депрессия);
5. Лугово-болотная солончаковая почва (Episalic Mollic Gleysols (Alcalic, Sodic)) (Причановская депрессия).

Почвы характеризуются существенным различием физико-химических свойств (табл. 3).

Методика проведения вегетационного опыта. Почву отбирали из верхнего корнеобитаемого слоя 0-20 см почвенных разрезов. Отобранную почву просеивали через сито с диаметром ячеек 7 мм. В вегетационные сосуды объёмом 10 л насыпали на дно в качестве дренажа керамзит (1 кг с диаметром гранул 1,5 см), далее дренаж закрывали марлей, сверху засыпали просеянный и прокаленный речной песок (1 кг), снова закрывали марлей, далее засыпали почву (3 кг сухого веса). Затем почву увлажняли

до влажности 60% от наименьшей влагоёмкости. В подготовленные сосуды высаживали ризомы *M. sacchariflorus* (3 шт. на сосуд, длина каждой ризомы составила 10 см).

Таблица 3

Физико-химические свойства почв вегетационного опыта

Горизонт	Глубина, см	Физическая глина, %	Гумус, %	pH _{вод}	Сухой остаток, %	Обменный Na	Сумма ПО*	Na, % от суммы ПО
						мг-экв./100 г почвы		
Лугово-чернозёмная слабосолонцеватая (Gleyic Chernozems (Oligonatric))								
Апах+А ₁	0–30	46,2	6,90	7,0	0,093	0,83	34,6	2,39
Солонец лугово-чернозёмный глубокий (Gleyic Solonetz (Humic))								
Апах+А ₁	0–20	51,6	4,72	7,15	0,077	0,02	21,8	0,09
Солонец лугово-чернозёмный корковый (Gleyic Solonetz (Ochric,Sodic))								
Апах+В1	0–20	53,8	5,0	8,2	0,300	5,10	20,01	25,49
Аллювиальная слоистая слаборазвитая солончаковая (Episalic Fluvisol (Alcalic, Sodic))								
А1g	0–20	63,5	3,25	9,0	1,460	12,1	41,0	29,51
Лугово-болотная солончаковая (EpisalicMollicGleysols(Alcalic,Sodic))								
А1g	0–20	80,1	4,30	8,9	1,304	6,75	33,7	20,03

Примечание.

*ПО – поглощённые основания (здесь и далее в табл. 7).

Опыт проводили в четырехкратной повторности. Полив сосудов осуществляли один раз в три дня. Выращивание растений проводили в условиях теплицы при температуре 22–28 / 18–22 °С при естественном освещении. По окончании культивирования растений через 5 месяцев их извлекали из сосудов. Надземную биомассу, корневища и корни разделяли. Вегетационный опыт проводили по методике З.И. Журбицкого (1968).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка продуктивности *M. sacchariflorus* при выращивании на солонцеватой почве. Посадка плантации *M. sacchariflorus* была проведена 2 июня 2018 г. Благодаря обеспеченности осадками в июне, массовые всходы появились через 20 дней от даты посадки. Достаточное увлажнение (54–56 мм осадков) и благоприятные температуры (17–18 °С) в начале вегетационного периода способствовали хорошему приросту биомассы в первый год вегетации, которая составила 0,7 т/га (табл. 4).

Таблица 4

Морфологические признаки и продуктивность биомассы *M. sacchariflorus* (n = 4, M ± SEM*, Чановский p-n)

Год	Морфологические признаки				Продуктивность биомассы**, т/га	
	Густота стеблестоя, шт./м ²	Длина генеративного побега, см	Облиственность, %	Число соцветий, шт./м ²	надземной	подземной
2018	64 ± 3	78,4 ± 15,5	50 ± 8	0	0,7 ± 0,3	–
2019	164 ± 8	83,9 ± 5,7	50 ± 7	3 ± 0,7	3,0 ± 0,3	2,4 ± 0,7
2020	212 ± 8	107,5 ± 3,0	50 ± 4	0	5,2 ± 0,8	4,2 ± 0,9

Примечание.

* – здесь и далее в табл. 5–7 результаты представлены в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения (M ± SEM). * – абсолютно сухая масса.

Недостаточная увлажненность в последующие годы повлияла на длину генеративного побега – к третьему году вегетации она достигла всего лишь 107,5 см при возможных 200 см, растения характеризовались отсутствием соцветий и облиственностью 50%. Несмотря на это, отмечено увеличение густоты стеблестоя (до 212 шт./м²) и достаточный прирост надземной биомассы культуры (до 5,2 т/га). Продуктивность подземной биомассы к концу третьего года вегетации составила 4,2 т/га

и практически сравнялась с величиной надземной биомассы, что свидетельствует о достаточно высокой адаптивности культуры к физико-химическим условиям лугово-чернозёмного солонца (Gleyic Solonetz).

Влияние *M. sacchariflorus* на обеспеченность почв элементами минерального питания. В течение вегетационных периодов 2018–2020 годов наблюдалось заметное потребление *M. sacchariflorus* азота и калия, обусловленное интенсивным развитием молодых растений и разрастанием плантации (табл. 5). Содержание фосфора в биомассе существенно не изменялось между началом и концом вегетации, что говорит о низкой потребности культуры в данном элементе. Сравнение данных по годам свидетельствует о существенном увеличении содержания азота нитратов в почве на третий год вегетации. Возможно, это обусловлено усилением процессов минерализации органического вещества в почве.

Таблица 5

Сравнение агрохимических свойств солонцевой почвы при возделывании *M. sacchariflorus*

Время отбора	Глубина, см	Нитраты, мг N-NO ₃ /кг	Фосфор*, мг P ₂ O ₅ /кг	Калий*, мг K ₂ O/кг
2018 г.				
весна	0-20	2,60 ± 0,28	72,5 ± 5,1	25,21 ± 2,11
осень	0-20	1,90 ± 0,13	71,0 ± 4,9	22,96 ± 3,80
2019 г.				
весна	0-20	2,27 ± 0,67	79,37 ± 5,15	25,76 ± 4,97
осень	0-20	1,53 ± 0,46	78,19 ± 6,30	17,70 ± 3,81
2020 г.				
весна	0-20	7,93 ± 2,58	55,62 ± 16,63	19,41 ± 3,26
осень	0-20	3,05 ± 1,13	43,50 ± 12,36	14,68 ± 4,59

Примечание.

* – фосфор подвижный и калий обменный определены по Чирикову в модификации ЦИНАО (экстрагент – 0,5 М CH₃COOH).

Оценка содержания элементов-биофилов (азот, фосфор, калий, натрий) в надземной биомассе *M. sacchariflorus*, отобранной в фазу отмирания (рис. 2), показала, что их вынос растениями невелик. Это объясняется тем, что после окончания вегетации питательные элементы в растениях *M. sacchariflorus* подвергаются реутилизации в корневища, создавая запас для возобновления вегетации в следующем году.

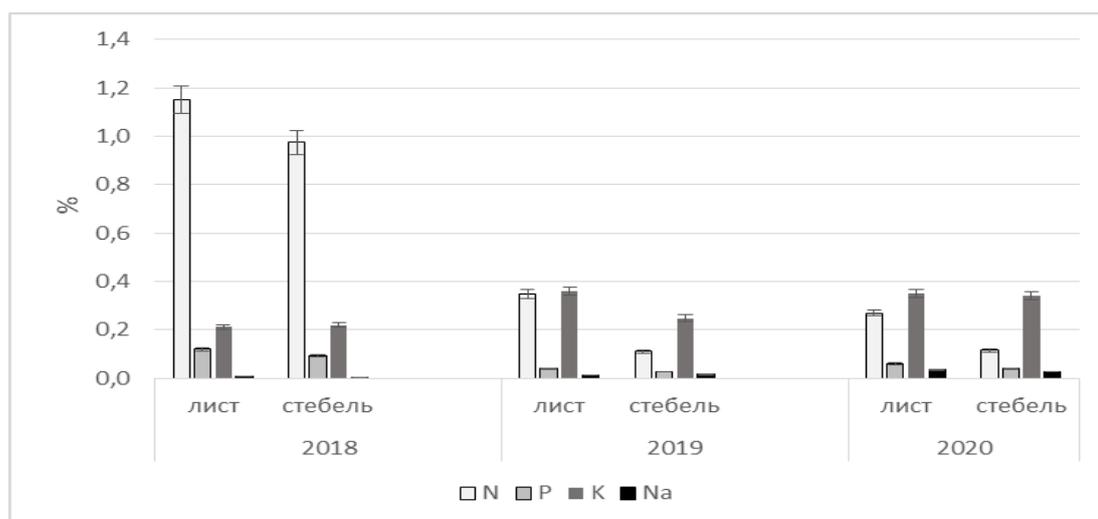


Рисунок 2. Содержание биофильных элементов в надземной биомассе *M. sacchariflorus* в фазу отмирания (старения) культуры. Здесь и далее на рис. 3–7 вертикальные планки погрешности представляют собой доверительные интервалы при уровне значимости $\alpha = 0,05$ ($t_{0,05} \cdot \frac{1}{2} \text{SEM}$).

В среднем за три года, содержание элементов в биомассе составило (% от абсолютно сухого вещества): азота – 0,5, фосфора – 0,06, калия – 0,30, натрия – 0,02. Учитывая, что средняя урожайность *M. sacchariflorus* в наших опытах за три года равна 3 т/га, ежегодный вынос элементов питания из почвенных запасов составил (кг/га): азота – 8,2, фосфора – 1,4, калия – 9,7, натрия – 0,6. В целом, вынос *M. sacchariflorus* химических элементов из почвы низкий и связан, как указывалось выше, со способностью культуры к эффективной их реутилизации.

Влияние выращивания *M. sacchariflorus* на химические свойства солонцовых почв. За время проведения исследований (2018–2020 гг.) наблюдалось снижение величины рН почвенного раствора и некоторое изменение состава водной вытяжки. Существенно уменьшилось содержание бикарбонат-иона и увеличилось содержание сульфат-иона (табл. 6).

Таблица 6

Содержание водорастворимых солей в исследуемой почве (слой 0–20 см)

рН	Сухой остаток, %	Концентрация ионов, мг-экв/100 г почвы							Сумма анионов	Сумма катионов
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
2018 г.										
6,53±0,06	0,09±0,02	0,52±0,03	0,10±0,03	0,80±0,01	0,20±0,03	0,85±0,05	0,04±0,01	0,21±0,06	1,42±0,20	1,30±0,25
2019 г.										
6,25±0,06	0,06±0,03	0,07±0,01	0,12±0,04	0,74±0,04	0,20±0,07	0,77±0,06	0,02±0,01	0,14±0,07	0,93±0,27	1,13±0,35
2020 г.										
6,03±0,06	0,08±0,02	0,05±0,03	0,14±0,03	0,87±0,01	0,10±0,04	0,72±0,05	0,04±0,03	0,13±0,06	1,06±0,26	0,98±0,20

Заметно также снижение содержания иона Na⁺, что в целом ведёт к снижению содержания соды. Можно предположить наличие слабо выраженного перехода от токсичного содово-сульфатного химизма засоления почвы к нейтральному сульфатному, но, учитывая чрезвычайную динамичность солевого состава и зависимость его от гидротермических условий вегетационного периода, для достоверности вывода требуется более длительный период наблюдений.

Обращает на себя внимание и существенное снижение содержания обменного натрия в ППК на третий год выращивания мискантуса (табл. 7). Возможно, это явление связано с процессом рассолонцевания, перехода ионов натрия в почвенный раствор и последующего вымывания в нижние горизонты.

Таблица 7

Содержание гумуса и обменных катионов в исследуемой почве (слой 0–20 см)

Гумус, %	Обменные катионы, ммоль/100 г почвы				Сумма ПО, ммоль/100 г	Na ⁺ + Mg ²⁺ , % от суммы ПО
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
2018 г.						
5,59 ± 0,36	9,73 ± 0,21	6,55 ± 0,62	0,95 ± 0,02	0,22 ± 0,01	21,73 ± 0,78	31,15
2019 г.						
5,59 ± 0,36	11,53 ± 0,84	5,42 ± 1,14	0,84 ± 0,07	0,22 ± 0,07	20,93 ± 0,75	26,95
2020 г.						
5,56 ± 0,12	11,03 ± 1,21	5,58 ± 0,63	1,30 ± 0,15	0,07 ± 0,05	21,63 ± 0,23	26,12

Изучение реакции *M. sacchariflorus* на почвенное засоление в условиях вегетационного опыта. В условиях вегетационного опыта оценивались такие показатели как развитие и накопление биомассы растений, содержание биофильных элементов в биомассе и почвах под культурой. В табл. 8 приведены данные, свидетельствующие об изменении солевого состава исследуемых почв в результате выращивания мискантуса. Во всех вариантах, кроме солонца глубокого, после вегетации мискантуса наблюдается снижение содержания солей (сухого остатка). В частности, отмечено уменьшение содержания ионов хлора во всех вариантах опыта и сульфатов в вариантах 3–5. Высокое содержание натрия в вариантах 4 и 5 снизилось к окончанию опыта в 1,5–2,5 раза.

В условиях вегетационного опыта снижение содержания солей, возможно, связано с выносом минеральных элементов корневой системой растений, о чем свидетельствует накопление натрия в корневищах растений (рис. 3).

Таблица 8

Содержание водорастворимых солей в исследуемых почвах

Время отбора*	pH _{вод}	Сухой остаток, %	Концентрация ионов, мг-экв/100 г почвы							Сумма анионов	Сумма катионов
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺		
Вариант 1. Лугово-чернозёмная слабосолонцеватая мощная (Gleyic Chernozems (Oligonatric))											
1	7,00	0,10	–	0,42	0,35	0,56	0,50	1,70	0,07	1,33	2,27
2	7,60	0,05	–	0,50	0,07	1,02	0,67	1,12	0,10	1,59	1,89
Вариант 2. Солонец лугово-чернозёмный глубокий (Gleyic Solonetz (Humic))											
1	7,15	0,08	–	0,37	0,22	0,76	0,30	0,85	0,16	1,36	1,31
2	6,65	0,15	–	0,02	0,16	1,76	0,70	0,80	0,28	1,95	1,78
Вариант 3. Солонец лугово-чернозёмный корковый (Gleyic Solonetz (Ochric, Sodic))											
1	8,20	0,30	–	0,81	0,41	1,12	0,67	1,15	1,02	2,35	2,84
2	7,20	0,12	–	0,15	0,26	1,0	0,55	0,97	0,19	1,41	1,71
Вариант 4. Аллювиальная слоистая слаборазвитая солончаковая (Episalic Fluvisols (Alcalic, Sodic))											
1	9,0	1,46	–	1,62	12,27	6,72	0,55	5,80	13,20	20,61	18,55
2	8,60	0,57	–	0,79	6,14	2,76	0,43	1,55	6,76	9,69	8,74
Вариант 5. Лугово-болотная солончаковая (Episalic Mollic Gleysols (Alcalic, Sodic))											
1	8,87	1,30	–	0,74	7,82	5,08	0,8	4,65	6,71	13,64	12,16
2	8,75	0,51	–	0,74	4,32	2,56	0,42	2,05	4,42	7,62	6,89

Примечание.

*Время отбора образцов: 1 – до вегетации мискантуса, 2 – после его вегетации.

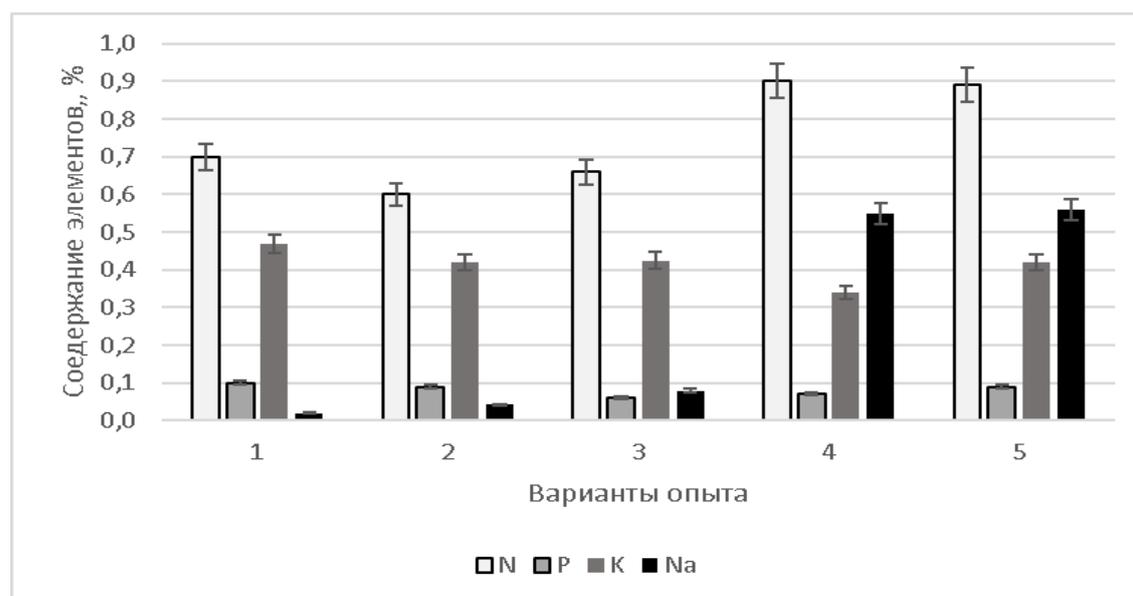


Рисунок 3. Содержание элементов в подземной биомассе (корни + корневища), % от абсолютно сухой массы.

Содержание минеральных элементов в биомассе. В корневищах растений на засоленных почвах возросло количество азота и натрия по сравнению с контрольной лугово-чернозёмной почвой. Содержание фосфора и калия незначительно снизилось, при этом наблюдалось стабильное содержание калия в подземной части растений, за исключением варианта 4 с аллювиальной солончаковой почвой, которая характеризуется наибольшим исходным содержанием легкорастворимых солей (см. табл. 8).

В надземной биомассе (листья + стебли) мискантуса увеличение концентрации солей в субстрате вызывало повышение содержания натрия и существенное повышение содержания азота, но почти не изменило содержание фосфора. Содержание калия в засоленных субстратах достоверно снижается по мере увеличения степени засоления (рис. 4).

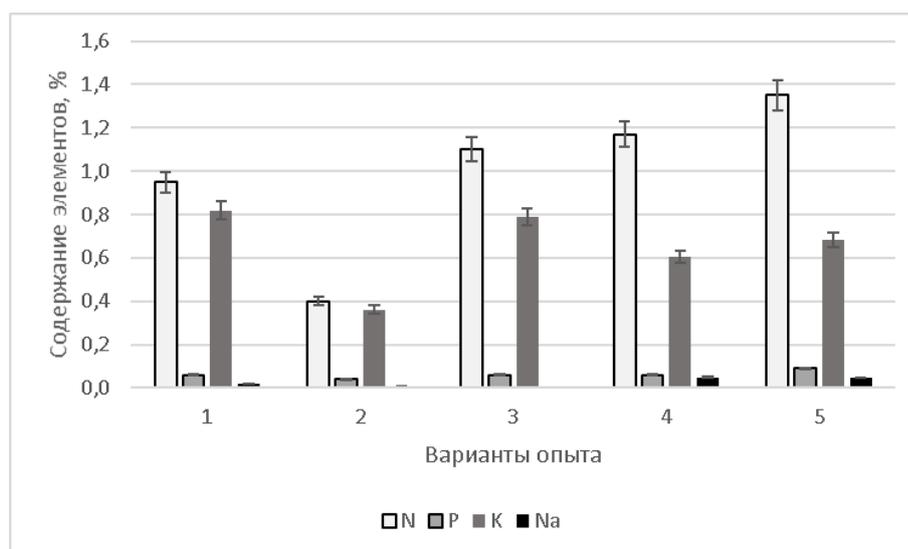


Рисунок 4. Содержание элементов в надземной биомассе мискантуса, % от абсолютно сухой массы.

Следует добавить, что калий накапливался в надземной биомассе мискантуса в значительно большей концентрации, чем в корневищах, в отличие от ионов Na^+ , которых в корневищах было в среднем в десять раз больше, чем в надземной биомассе; особенно явно это проявляется на сильно засоленных почвах вариантов 4 и 5. Вероятно, корневая система мискантуса осуществляет барьерные функции относительно проникновения избыточных количеств натрия в надземную часть растений, что позволяет предполагать способность этой культуры к адаптации в засоленных ландшафтах.

Взаимосвязь между содержанием минеральных элементов и параметрами роста растений.

Наблюдения за развитием *M. sacchariflorus* на протяжении всего периода эксперимента показали, что в контрольном варианте с благоприятной лугово-чернозёмной почвой растения отличались наибольшим количеством и высотой побегов (рис. 5 и 6) по сравнению с другими вариантами опыта.

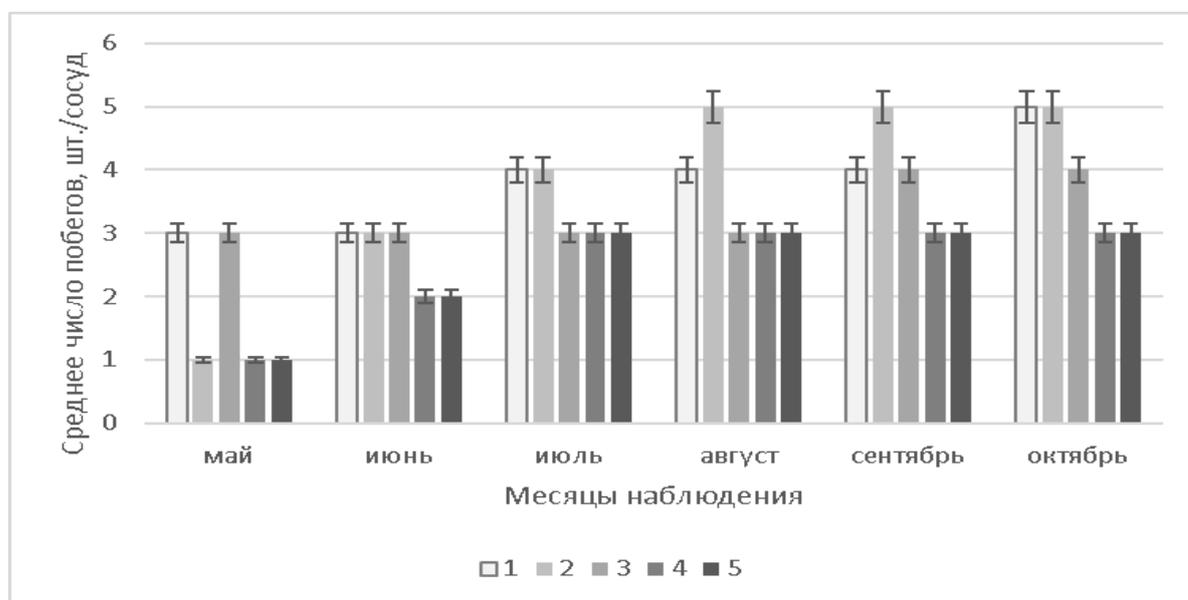


Рисунок 5. Влияние засоления почв на количество побегов мискантуса.

Варианты опыта (здесь и далее на рис. 6–8): 1 – лугово-чернозёмная слабосолонцеватая почва (Gleyic Chernozems (Oligonatric)) – контроль; 2 – солонец лугово-чернозёмный глубокий (Gleyic Solonetz (Humic)); 3 – солонец лугово-чернозёмный корковый (Gleyic Solonetz (Ochric, Sodic)); 4 – аллювиальная слоистая слаборазвитая солончаковая почва (Episalic Fluvisols (Alcalic, Sodic)); 5 – лугово-болотная солончаковая почва (Episalic Mollic Gleysols (Alcalic, Sodic)).

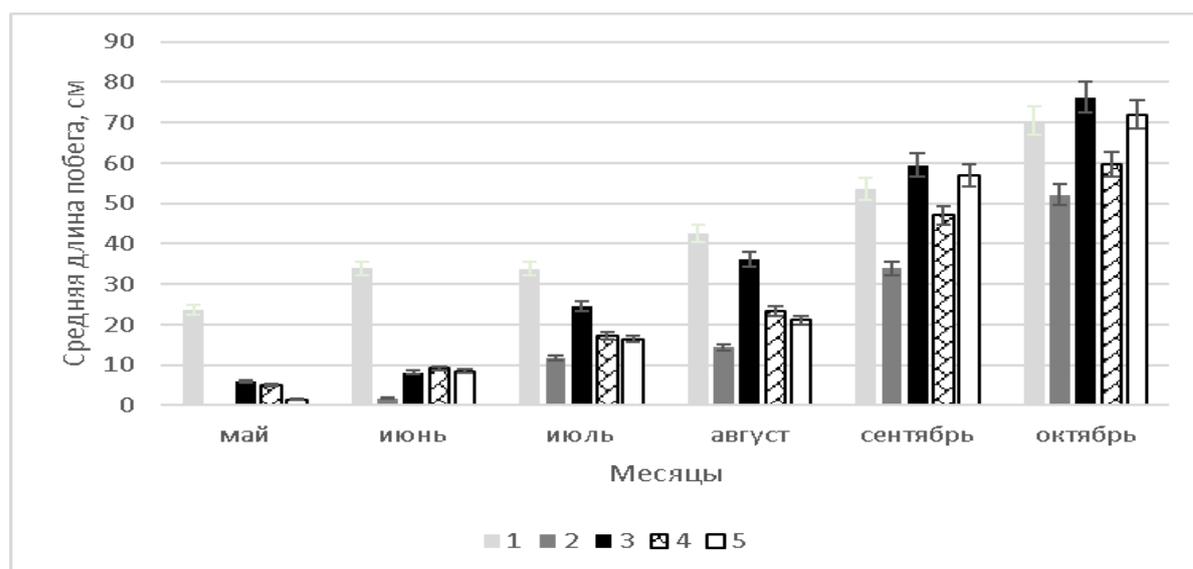


Рисунок 6. Влияние засоления на высоту растений мискантуса в течение вегетационного периода. Варианты опыта: см. рис. 5.

Начало отрастания на контрольном варианте с лугово-чернозёмной почвой было самым активным; увеличение длины побегов во времени происходило равномерно (см. рис. 5 и 6). В вариантах с засолением в начальный период вегетации наблюдалось слабое развитие побегов по сравнению с контролем. Большинство корневищ не давало побегов в первый месяц вегетации (варианты 2, 4, 5), оставаясь при этом жизнеспособными.

Особенности развития растений мискантуса при наличии солей в почве оказывали влияние на формирование биомассы мискантуса (рис. 7). Замедленное пробуждение почек и развитие побегов в начальный период вегетации привело к снижению биомассы как наземной, так и подземной части растений на засоленных почвах (рис. 8).

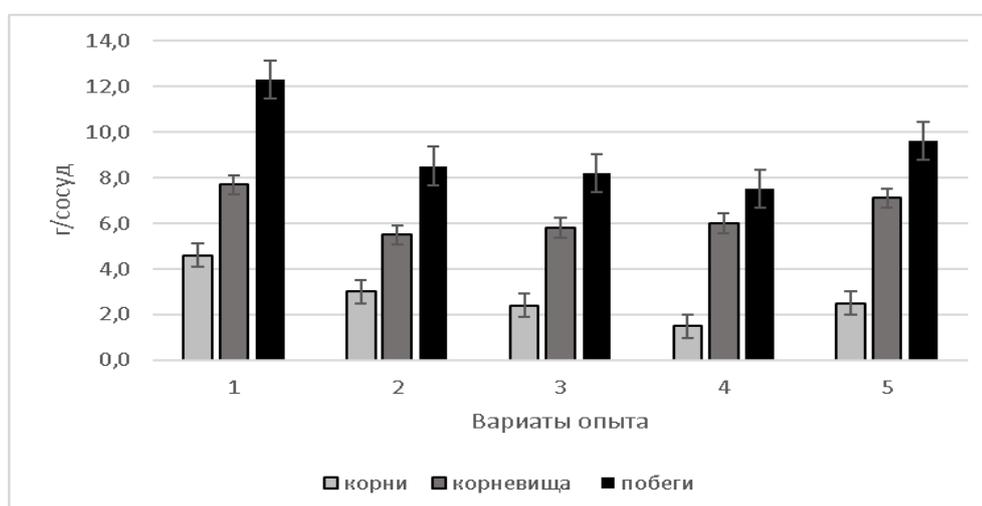


Рисунок 7. Влияние засоления на накопление биомассы растений. Варианты опыта: см. рис. 5.



Рисунок 8. Накопление подземной биомассы растений в зависимости от засоления. Варианты опыта: см. рис. 5.

Максимальный прирост молодых длинных белых корней отмечен в контрольном варианте. В засоленных почвах подземная масса корней была на 34–65% меньше, чем на контроле. На рис. 7 и 8 отражено наибольшее влияние щелочных солей на корневую систему в варианте 4 (аллювиальная слоистая солончаковая почва). Биомасса корневищ, которые развиваются позже, в варианте с аллювиальной солончаковой почвой находится в пределах доверительного интервала с вариантами на глубоком и корковом солонцах, видимо, за счёт существенного снижения концентрации почвенного раствора и содержания бикарбоната натрия в процессе вегетации. В 5-м варианте с лугово-болотной солончаковой почвой биомасса корневищ даже превышает таковую во 2-м, 3-м и 4-м вариантах с солонцовыми почвами, худшими по физическим свойствам. Та же закономерность снижения биомассы в целом повторяется и в надземной части растений.

Таким образом, результаты полевого и вегетационного опытов показали, что *M. sacchariflorus* может произрастать на солонцовых почвах, давая урожай биомассы до 5 т/га при засушливых условиях вегетационного периода. Корневая система *M. sacchariflorus*, вероятно, обладает барьерными свойствами, защищая надземную биомассу от избыточного поступления токсичных элементов, в частности натрия, что позволяет предположить наличие способности культуры адаптироваться к засоленным почвам.

ОБСУЖДЕНИЕ

Цикл развития *M. sacchariflorus* составляет 10–15 лет и более. По многочисленным литературным данным (Bonin et al., 2014; Mi et al., 2014; Zheng et al., 2019), в условиях естественного произрастания *M. sacchariflorus* значения гидротермического коэффициента за вегетационный период варьируют от 1,49 до 2,9, сумма эффективных температур $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – от 1249 до 2493 $^{\circ}\text{C}$. В Германии средняя 14-летняя урожайность *M. sacchariflorus* составляет 10,7 т/га (Bonin et al., 2014). На территории России для его культивирования пригодна не только область естественного произрастания вида на Дальнем Востоке, но и горные районы Северного Кавказа, а также отдельные районы юга Сибири и Европейской части России (Багмет, Дзюбенко, 2019). Что касается продуктивности *M. sacchariflorus* при выращивании его в засоленных агроландшафтах, то даже в засушливых погодных условиях, сложившихся в годы проведения нашего полевого эксперимента, данная культура способна давать урожай биомассы до 5 т/га, существенно превышая средние значения продуктивности естественных фитоценозов. В более благоприятные по условиям увлажнения годы следует ожидать более высокие значения урожайности культуры.

В научной литературе обсуждаются вопросы фитомелиорирующего действия и средообразующего влияния на почву *M. sacchariflorus*. Результаты зарубежных исследователей показали, что выращивание *Miscanthus* на солончаковой щелочной почве снижает её засоление и повышает плодородие. В частности, за пятилетний период выращивания *Miscanthus* отмечено снижение рН почвы на 0,33 единицы (8,78–8,45), увеличение содержания органического вещества в почве с 18,9 до 34,9 г/кг и общего содержания калия с 15,2 до 18,0 г/кг (Xu et al., 2021). Это подтверждается и нашими исследованиями: снижение рН наблюдалось в большинстве случаев как в полевом, так и в вегетационном опыте.

Ранее проведенные зарубежные исследования показали, что корневая система культуры способна влиять на снижение рН почвы (Кауама, 2001) и увеличивать её пористость, что также может способствовать опреснению почвы за счёт выщелачивания (Ado et al., 2019). Эффект улучшения структурного состояния почвы был получен нами на примере серых лесных супесчаных почв в опыте с многолетним выращиванием мискантуса. После 15-летнего произрастания этой культуры содержание агрономически ценной фракции составило 71%, агрегатное состояние из категории «удовлетворительное» перешло в категорию «хорошее», а водопрочность агрегатов оценивается как «отличная», что обусловлено, возможно, накоплением органической массы в почве (Капустянчик, 2022).

Некоторые исследователи считают, что поскольку *Miscanthus* относится к C4 типу, быстрорастущему растению, он способен активно поглощать и удалять ионы солей (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) из засоленных почв с помощью своей высокоурожайной биомассы (Zheng et al., 2019). Однако считаем, что этот аргумент актуален при условии отчуждения биомассы листьев в качестве продукции с территории произрастания. В случае оставления массы листьев растений *Miscanthus* до полного окончания вегетации и перехода их в опад (с целью получения только стеблей, как источника целлюлозы) большое количество питательных элементов подвергается реутилизации в корневища и возвращается в почву с опадом, обеспечивая тем самым многократный оборот запасов важнейших элементов питания.

Повышение плодородия почвы за счёт выращивания *Miscanthus* является важным аспектом улучшения засоленных почв. Органическое вещество почвы играет большую роль в поддержании плодородия почвы, поскольку оно выполняет такие важные функции экосистемы, как формирование структуры и водоудерживающей способности почвы, хранения питательных веществ (Schmidt et al., 2011). Многие исследователи утверждают, что выращивание *Miscanthus* может увеличить запасы органического углерода в почве (Mi et al., 2014; Chen et al., 2020; Zhao C. et al., 2020; Zhao Q. et al., 2020). Так, было обнаружено (Xu et al., 2021), что выращивание *Miscanthus* на солонцевой щелочной почве может увеличить содержание органического вещества в почве на 3,2 г/кг в год за счёт большого количества биомассы, пожнивных остатков на поле и возвращаемым в почву опадом. Следовательно, *Miscanthus* может представлять огромный потенциал для улучшения плодородия почвы и накопления в ней органического вещества.

ВЫВОДЫ

Результаты проведённых исследований показали, что *M. sacchariflorus* довольно продуктивен на засоленных землях и даже в острозасушливых погодных условиях способен давать урожай биомассы более 5 т/га, что свидетельствует о широких адаптационных возможностях данной культуры. Посадки *M. sacchariflorus* обладают положительной средообразующей способностью, оказывая благоприятное экологическое влияние на основные элементы почвенного плодородия: накопление органического вещества в корневых остатках и почве, обогащение пахотного слоя элементами минерального питания, улучшение химических и физических свойств засоленных почв.

Таким образом, *M. sacchariflorus*, как многолетнее растение, способное произрастать длительное время на низко продуктивных землях, мог бы использоваться как фитомелиорирующая культура наряду с такими известными фитомелиорантами как донник, люцерна, суданская трава. Оценка перспективности возделывания *M. sacchariflorus* и его средоулучшающих свойств на солонцевых почвах в масштабах России позволит существенно расширить зону его выращивания. В наших исследованиях показано, что размещение посадок *M. sacchariflorus* на гидроморфных засоленных почвах, занимающих огромные пространства в Западной Сибири и практически неиспользуемых в сельскохозяйственном производстве, позволит обеспечить более высокую экономическую отдачу от данных угодий, учитывая минимальные требования к подготовке почвы для посадки и дальнейшей обработке агроценоза.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность Ломовой Т.Г., канд. с.-х. наук, ведущему научному сотруднику лаборатории сенокосов и пастбищ Сибирского научно-исследовательского института кормов СФНЦА РАН за предоставленную возможность для проведения полевых исследований.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа поддержана бюджетным проектом Сибирского НИИ растениеводства и селекции – филиал ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН № FWNR-2022-0018.

ЛИТЕРАТУРА

- Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области. Новосибирск: Сибирское отделение, 2002. 388 с.
- Багмет Л.В., Дзюбенко Е.А. Прогнозирование областей культивирования *Miscanthus sacchariflorus* (*Poaceae*) на территории Российской Федерации // *Vavilovia*. 2019. Том 2. № 4. Р. 35–49. <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-4-35-49>
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. Москва: Наука, 1968. 266 с.
- Капустянчик С.Ю. Агроэкологические основы интродукции культуры мискантус в условиях лесостепи Западной Сибири. Автореферат диссертации ... д-р. с.-х. наук. Новосибирск, 2022. 40 с.
- Ковда В.А. Основы учения о почвах. Кн. 2. Москва: Наука, 1973. 468 с.
- Константинов М.Д., Ломова Т.Г. Система использования комплексных солонцевых почв // *Земледелие*. 2007. № 4. С. 5–6.

- Константинов М.Д., Кухарь М.А. Улучшение свойств средних солонцов в фитомелиоративных луговых севооборотах Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2007. № 6. С. 32–39.
- Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. Москва: ВНИИ кормов, 2007. 60 с.
- Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 2. e215. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>
- Орловский Н.В. Основные моменты в использовании и улучшении солонцовых и солончаковых почв Западной Сибири // Химизация социального земледелия. 1937. № 6. С. 1–4.
- Орловский Н.В. Подбор кормовых трав и травосмесей для засоленных гривных земель Барабы и основные вопросы их агротехники // За сельскохозяйственное освоение Барабы. Новосибирск, 1946. С. 177–210.
- Панов Н.П. Причины комплексности почвенного покрова аридных территорий // Генезис и мелиорация почв солонцовых комплексов. Москва: Россельхозакадемия, 2008. С. 13–17.
- Понько В.А. Оценка и прогнозирование агроклиматических ресурсов. Новосибирск, 2012. 100 с.
- Реестр длительных стационарных полевых опытов государственных научных учреждений Сибирского отделения Россельхозакадемии / Россельхозакадемия. Сибирское отделение; составители: Л.Ф. Ашмарина, А.И. Ермохина, Т.А. Галактионова; под общей редакцией академика Россельхозакадемии Н.И. Кашеварова. Издательство 1-е. Новосибирск, 2009. С.183–184.
- Ado M.N., Michot D., Guero Y., Hallaire V., Nomaou Dan Lamso N.D., Dutin G., Walter C. Echinochloa stagnina improves soil structure and phytodesalinization of irrigated saline sodic Vertisols // Plant and Soil. 2019. Vol. 434. P. 413–424. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3853-9>
- Bonin C.L., Heaton E.A., Barb J. Miscanthus sacchariflorus – biofuel parent or new weed? // Global Change Biology Bioenergy. 2014. Vol. 6. Iss. 6. P. 629–636. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12098>
- Chen Y., Tian W., Shao Y., Li Y.-J., Lin L.-A., Zhang Y.-J., Han H., Chen Z.-J. Miscanthus cultivation shapes rhizosphere microbial community structure and function as assessed by Illumina MiSeq sequencing combined with PICRUSt and FUNGUId analyses // Archives of Microbiology. 2020. Vol. 202. Iss. 5. P. 1157–1171. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01830-1>
- Emmerling Ch., Pude R. Introducing Miscanthus to the greening measures of the EU Common Agricultural Policy (CAP) // Global Change Biology Bioenergy. 2017. Vol. 9. Iss. 2. P. 274–279. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12409>
- Kalinina O., Nunn C., Sanderson R., Hastings A.F.S., Weijde T., Özgüven M., Tarakanov I., Schüle H., Trindade L.M., Dolstra O., Schwarz K.-U., Iqbal Ya., Kiesel A., Mos M., Lewandowski I., Clifton-Brown J.C. Extending Miscanthus Cultivation with Novel Germplasm at Six Contrasting Sites // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 563. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00563>
- Kayama M. Comparison of the aluminum tolerance of *Miscanthus sinensis* Anderss. and *Miscanthus sacchariflorus* Benth in hydroculture // International Journal of Plant Sciences. 2001. Vol. 162. No. 5. P. 1025–1031. <https://doi.org/10.1086/322890>
- McCalmont J.P. Hastings A., McNamara N.P., Richter G.M., Robson P., Donnison I.S., Clifton-Brown J. Environmental costs and benefits of growing Miscanthus for bioenergy in the UK // Global Change Biology Bioenergy. 2017. Vol. 9. Iss. 3. P. 489–507. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12294>
- Mi J., Liu W., Yang W., Yan J., Li J., Sang T. Carbon sequestration by *Miscanthus* energy crops plantations in a broad range semi-arid marginal land in China // Science of the Total Environment. 2014. Vol. 496. P. 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.047>
- Schmidt M.W., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Trumbore S.E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011. Vol. 478. P. 49–56. <https://doi.org/10.1038/nature10386>
- Xu Y., Zheng Ch., Liang L., Yi Z., Xue Sh. Quantitative assessment of the potential for soil improvement by planting Miscanthus on saline-alkaline soil and the underlying microbial mechanism // Global Change Biology Bioenergy. 2021. Vol. 13. Iss. 7. P. 1191–1205. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12845>
- Zhao C., Fan X., Li X., Hou X., Zhang W., Yue Y., Wu J. *Miscanthus sacchariflorus* exhibits sustainable yields and ameliorates soil properties but potassium stocks without any input over a 12-year period in China // Global Change Biology Bioenergy. 2020. Vol. 12. Iss. 8. P. 556–570. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12700>
- Zhao Q., Bai J., Gao Y., Zhao H., Zhang G. and Cui B. Shifts in the soil bacterial community along a salinity gradient in the Yellow River Delta // Land Degradation and Development. 2020. Vol. 31. Iss. 16. P. 2255–2267. <https://doi.org/10.1002/ldr.3594>

Zheng Ch., Iqbal Y., Labonte N., Sun G., Feng H., Yi Z., Xiao L. Performance of Switchgrass and Miscanthus genotypes on marginal land in the Yellow River Delta // *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 141. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111773>

Zheng Ch., Yi Z., Xiao L., Sun G., Li M., Xue Sh., Peng X., Duan M., Chen Z. The performance of *Miscanthus* hybrids in saline-alkaline soil // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.921824>

Поступила в редакцию 26.01.2024

Принята 22.03.2024

Опубликована 30.04.2024

Сведения об авторах:

Добровотворская Надежда Ивановна – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры кадастра и территориального планирования Сибирского государственного университета геосистем и технологий (г. Новосибирская, Россия); dobrotvorskaya@mail.ru

Капустянчик Светлана Юрьевна – доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник сектора интродукции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции (СибНИИРС) – филиал Института цитологии и генетики (ИЦиГ) СО РАН (г. Новосибирская, Россия); kapustyanchik@bionet.nsc.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Adaptation potential of *Miscanthus* in a solonetz agricultural landscape

© 2024 N. I. Dobrotvorskaya ¹, S. Yu. Kapustyanchik ²

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia. E-mail: dobrotvorskaya@mail.ru

²Siberian Research Institute for Plant Industry and Breeding, Branch of the Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia. E-mail: kapustyanchik@bionet.nsc.ru

The aim of the study was to assess the ecological adaptability of *Miscanthus* cv. Soranovsky to saline agricultural landscapes and the phytomeliorative effect of the plant on saline soils.

Location and time of the study. The field experimental part of the research was carried out in 2018–2020 in the central forest-steppe in the Barabinsky agrolandscape region (Experimental Research Station of the Siberian Federal Center for Agrobiotechnologies).

Methods. The common methods of field and vegetation experiments, chemical analysis of soils and plant samples were used in the study.

Results. *Miscanthus* can grow on solonetzic soils, providing a biomass yield of up to 5 t/ha under dry growing season conditions. The removal of nutrients from the soil by the biomass of *Miscanthus* stems was found to be low (8.2 kg/ha of nitrogen, 1.4 kg/ha of phosphorus and 9.7 kg/ha of potassium per year) due to their annual reutilization into rhizomes. This fact allow to avoid the danger of soil depletion during long-term cultivation of crops. Growing *Miscanthus* on meadow-chernozem solonetz for an average of three years led to changes in soil properties such as a decrease in pH, and changes in salts chemistry in the soil solution, manifested as a decrease in sodium bicarbonate content.

Conclusions. *Miscanthus* as a crop has wide adaptation capabilities in relation to the marginal lands of the solonetz zone of West Siberia. *Miscanthus* plantings have a beneficial environment-forming effect on solonetz soils, due to the enrichment of soils with mineral nutrition elements and improvement of soil chemical properties.

Keywords: *Miscanthus*; salt tolerance; solonetz soils; biomass; mineral nutrition elements.

How to cite: Dobrotvorskaya N.I., Kapustyanchik S.Yu. Adaptation potential of miscanthus in solonetz agricultural landscape. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(2). e247 (in Russian with English abstract). DOI: [10.31251/pos.v7i2.247](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.247)

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are very thankful to Lomova T.G., Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of hayfields and pastures of the Siberian Federal Scientific Center for Forage Research Institute of the Russian Academy of Sciences for the opportunity to conduct field research.

FUNDING

The study was supported by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FWNR-2022-0018).

REFERENCES

- Adaptive landscape farming systems in the Novosibirsk region. Novosibirsk: Siberian Branch, 2002. 388 p. (in Russian).
- Bagmet L.V., Dzyubenko E.A. Prediction of the potential cultivation areas of *Miscanthus sacchariflorus* in the Russian Federation. *Vavilovia*. 2019. Vol. 2. No. 4. P. 35–49. (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2019-4-35-49>
- Dospheov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).
- Zhurbitsky Z.I. Theory and practice of the vegetation method. Moscow: Nauka Publ., 1968. 266 p. (in Russian).
- Kapustyanchik S.Yu. Agroecological basis for the introduction of *Miscanthus* culture in the forest-steppe conditions of Western Siberia. Abstract of Dissertation ... Dr. of Agricultural Sci. Novosibirsk, 2022. 40 p. (in Russian).
- Kovda V.A. Fundamentals of the study of soils. Vol. 2. Moscow: Nauka Publ., 1973. 468 p. (in Russian).
- Konstantinov M.D., Lomova T.G. System of using complex solonetz soils. *Zemledelie*. 2007. No. 4. P. 5–6. (in Russian).
- Konstantinov M.D., Kukhar M.A. Improving the properties of average solonetz soils in phytomeliorative meadow crop rotations in Western Siberia. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2007. No. 6. P. 32–39.
- Methodological instructions for conducting field experiments with forage crops. Moscow: Russian Research Institute of Feeds, 2007. 60 p. (in Russian).
- Nechaeva T.V. Abandoned lands in Russia: distribution, agroecological status and perspective use (a review). *The Journal of Soils and Environment*. 2023. Vol. 6. No. 2. e215. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i2.215>
- Orlovsky N.V. The main points in the use and improvement of solonchak soils in Western Siberia. *Chemicalization of social agriculture*. 1937. No. 6. P. 1–4. (in Russian).
- Orlovsky N.V. The choice of forage grasses and grass mixtures for the saline lands of Baraba and the main issues of their agricultural technology. In book: *On the agricultural development of Baraba*. Novosibirsk, 1946. P. 177–210. (in Russian).
- Panov N.P. Reasons for the complexity of the soil cover of arid territories. In book: *Genesis and reclamation of soils of solonetz complexes*. Moscow: Rosselkhozakademiya, 2008. P. 13–17. (in Russian).
- Ponko V.A. Assessment and forecasting of agroclimatic resources. Novosibirsk, 2012. 100 p. (in Russian).
- Register of long-term stationary field experiments of state scientific institutions of the Siberian branch of the Russian Agricultural Academy / Russian Agricultural Academy. Siberian Branch; compilers: L.F. Ashmarina, A.I. Ermokhina, T.A. Galaktionova; under general editor of acad. Russian Agricultural Academy N.I. Kashevarov. Publishers Ist. Novosibirsk, 2009. P. 183–184. (in Russian).
- Ado M.N., Michot D., Guero Y., Hallaire V., Nomaou Dan Lamso N.D., Dutin G., Walter C. *Echinochloa stagnina* improves soil structure and phytodesalinization of irrigated saline sodic Vertisols. *Plant and Soil*. 2019. Vol. 434. P. 413–424. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3853-9>
- Bonin C.L., Heaton E.A., Barb J. *Miscanthus sacchariflorus* – biofuel parent or new weed? *Global Change Biology Bioenergy*. 2014. Vol. 6. Iss. 6. P. 629–636. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12098>
- Chen Y., Tian W., Shao Y., Li Y.-J., Lin L.-A., Zhang Y.-J., Han H., Chen Z.-J. *Miscanthus* cultivation shapes rhizosphere microbial community structure and function as assessed by Illumina MiSeq sequencing combined with PICRUSt and FUNGuild analyses. *Archives of Microbiology*. 2020. Vol. 202. Iss. 5. P. 1157–1171. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01830-1>
- Emmerling Ch., Pude R. Introducing *Miscanthus* to the greening measures of the EU Common Agricultural Policy (CAP). *Global Change Biology Bioenergy*. 2017. Vol. 9. Iss. 2. P. 274–279. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12409>
- Kalinina O., Nunn C., Sanderson R., Hastings A.F.S., Weijde T., Özgüven M., Tarakanov I., Schüle H., Trindade L.M., Dolstra O., Schwarz K.-U., Iqbal Ya., Kiesel A., Mos M., Lewandowski I., Clifton-Brown J.C. Extending *Miscanthus* Cultivation with Novel Germplasm at Six Contrasting Sites. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. P. 563.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00563>

Kayama M. Comparison of the aluminum tolerance of *Miscanthus sinensis* Anderss. and *Miscanthus sacchariflorus* Benthams in hydroculture. International Journal of Plant Sciences. 2001. Vol. 162. No. 5. P. 1025–1031. <https://doi.org/10.1086/322890>

McCalmont J.P. Hastings A., McNamara N.P., Richter G.M., Robson P., Donnison I.S., Clifton-Brown J. Environmental costs and benefits of growing *Miscanthus* for bioenergy in the UK. Global Change Biology Bioenergy. 2017. Vol. 9. Iss. 3. P. 489–507. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12294>

Mi J., Liu W., Yang W., Yan J., Li J., Sang T. Carbon sequestration by *Miscanthus* energy crops plantations in a broad range semi- arid marginal land in China. Science of the Total Environment. 2014. Vol. 496. P. 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.047>

Schmidt M.W., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Trumbore S.E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. Nature. 2011. Vol. 478. P. 49– 56. <https://doi.org/10.1038/nature10386>

Xu Y., Zheng Ch., Liang L., Yi Z., Xue Sh. Quantitative assessment of the potential for soil improvement by planting *Miscanthus* on saline-alkaline soil and the underlying microbial mechanism. Global Change Biology Bioenergy. 2021. Vol. 13. Iss. 7. P. 1191–1205. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12845>

Zhao C., Fan X., Li X., Hou X., Zhang W., Yue Y., Wu J. *Miscanthus sacchariflorus* exhibits sustainable yields and ameliorates soil properties but potassium stocks without any input over a 12-year period in China. Global Change Biology Bioenergy. 2020. Vol. 12. Iss. 8. P. 556– 570. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12700>

Zhao Q., Bai J., Gao Y., Zhao H., Zhang G. and Cui B. Shifts in the soil bacterial community along a salinity gradient in the Yellow River Delta. Land Degradation and Development. 2020. Vol. 31. Iss. 16. P. 2255–2267. <https://doi.org/10.1002/ldr.3594>

Zheng Ch., Iqbal Y., Labonte N., Sun G., Feng H., Yi Z., Xiao L. Performance of Switchgrass and *Miscanthus* genotypes on marginal land in the Yellow River Delta. Industrial Crops and Products. 2019. Vol. 141. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111773>

Zheng Ch., Yi Z., Xiao L., Sun G., Li M., Xue Sh., Peng X., Duan M., Chen Z. The performance of *Miscanthus* hybrids in saline-alkaline soil. Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. P. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.921824>

Received 26 January 2024

Accepted 22 March 2024

Published 30 April 2024

About the authors:

Nadezhda I. Dobrotvorskaya – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Professor of the Department of Cadastre and Territorial Planning of the Siberian State University of Geosystems and Technologies (Novosibirsk, Russia); dobrotvorskaya@mail.ru

Svetlana Yu. Kapustyanchik – Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher in the sector of Introduction and Technology of Cultivation of Crops in the Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding – the branch of the Federal Research Center the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); kapustyanchik@bionet.nsc.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)