

Пятая международная научная конференция PlantGen2019

Формирование и изучение коллекционного генофонда ресурсных видов рода *Miscanthus* Anderss. в условиях лесостепи Западной Сибири

О.В. Дорогина¹✉, О.Ю. Васильева¹, Н.С. Нуждина¹, Л.В. Буглова¹, Е.В. Жмудь¹, Г.А. Зуева¹, О.В. Комина¹, И.С. Кубан¹, А.С. Гусар², Р.В. Дудкин³

¹ Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³ Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия

✉ e-mail: olga-dorogina@yandex.ru

В настоящее время особый интерес представляют растения, характеризующиеся высокой скоростью нарастания надземной вегетативной массы и имеющие практическое применение в качестве источника биоэтанола и целлюлозы, например, виды рода *Miscanthus* Anderss. (веерник). Цель данного исследования – молекулярно-генетическая идентификация и гистохимический анализ видов рода *Miscanthus*: *M. sacchariflorus* (Maxim.) Benth., *M. sinensis* Anderss. и *M. purpurascens* Anderss. коллекционного генофонда Центрального сибирского ботанического сада СО РАН для выявления перспективных технических сырьевых растений. Для формирования, изучения и идентификации коллекционного генофонда рода *Miscanthus* применялся мультидисциплинарный подход, заключающийся в следующем: при сборе образцов в природе использовались традиционные методы классической систематики и геоботаники (сравнительно-морфологический и фитоценологический); при выделении форм под конкретные ресурсные (биоэнергетические), технологические задачи применялись биоморфологические подходы и проводилось описание микроэкологических условий с акцентом на наименее благоприятные для произрастания факторы. Молекулярно-генетические исследования были направлены на уточнение таксономической принадлежности и анализ генетических дистанций между представителями трех видов *Miscanthus*. По результатам ISSR-анализа изученные образцы трех видов мискантуса разделились на две клады: *Sinensis* и *Sacchariflorus*, что хорошо согласуется с видовой принадлежностью большинства образцов. Исключение составили растения *M. purpurascens*_I и II, которые по данным молекулярно-генетического анализа отнесены к кладе *Sacchariflorus*, что может служить подтверждением гибридного происхождения данного вида. Клада *Sinensis* разделилась на две субклады. В субкладу I вошли образцы, произраставшие в наименее благоприятных микроэкологических условиях – на более засоленных почвах, а в субкладу II сосредоточены наиболее габитуально мощные образцы. Эти данные позволяют предположить, что среди образцов субклады I могут оказаться доноры устойчивости, а среди образцов субклады II – доноры продуктивности. Известно, что из-за повышенного содержания лигнина снижается технологическая ценность сырья. Согласно проведенному нами гистохимическому анализу, мощность механической лигнин-содержащей ткани различается у разных растений мискантуса, поэтому наиболее целесообразен селективный отбор особей, накапливающих меньше лигнина (с наименее развитой склеренхимой). Выявленные молекулярные признаки разных видов мискантуса могут быть использованы для идентификации и паспортизации перспективных форм и линий в качестве альтернативного источника биотоплива и целлюлозы.

Ключевые слова: род *Miscanthus*; ISSR-анализ; гистохимический анализ; биоморфология; микроэкология; кластерная дендрограмма; биоэтанол.

Для цитирования: Дорогина О.В., Васильева О.Ю., Нуждина Н.С., Буглова Л.В., Жмудь Е.В., Зуева Г.А., Комина О.В., Кубан И.С., Гусар А.С., Дудкин Р.В. Формирование и изучение коллекционного генофонда ресурсных видов рода *Miscanthus* Anderss. в условиях лесостепи Западной Сибири. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(7): 926-932. DOI 10.18699/VJ19.568

The formation and the study of a collection of the *Miscanthus* resource species gene pool in the conditions of the West Siberian forest steppe

O.V. Dorogina¹✉, O.Yu. Vasilyeva¹, N.S. Nuzhdina¹, L.V. Buglova¹, E.V. Zhmud¹, G.A. Zueva¹, O.V. Komina¹, I.S. Kuban¹, A.S. Gusar², R.V. Dudkin³

¹ Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³ Botanical Garden-Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

✉ e-mail: olga-dorogina@yandex.ru

Several species of the genus *Miscanthus* Anderss. (elephant grass) characterized by a high rate of growth of the above-ground vegetative mass are currently in the focus of attention due to their high practical application as a source of bioethanol and cellulose. The main goals of this study were: (1) molecular genetic identification and (2) histochemical analysis of

the genus *Miscanthus* Anderss. species in the collection of Central Siberian Botanical Garden SB RAS in order to identify the most perspective and technically valuable individuals. To study the collection of *Miscanthus* samples, a multi-disciplinary approach was applied. To collect the samples of different species from native habitats, traditional systematic and geobotanical methods (comparative morphological and phytocenological) were used. According to the results of the ISSR-analysis, 16 samples of three *Miscanthus* species were divided into two clades: Sinensis and Sacchariflorus, the former including two subclades. For the samples of *M. purpurascens*_I and II, a hybrid origin of this species was confirmed by ISSR data. The molecular data obtained from the study allowed us to hypothesize that the samples involved in the subclade I of the Sinensis clade could be used as donors of resistance to adverse environments, and the samples of the subclade II, as donors of high biomass productivity. Based on histochemical analysis, sclerenchyma cells were characterized by the most lignin-rich thickened membranes, so the most appropriate direction in *Miscanthus* selection should be based on identification and using less lignin-containing samples.

Key words: *Miscanthus*; ISSR analysis; histochemical analysis; biomorphology; microecology; cluster dendrogram; bioethanol.

For citation: Dorogina O.V., Vasilyeva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L.V., Zhmud E.V., Zueva G.A., Komina O.V., Kuban I.S., Gусar A.S., Dudkin R.V. The formation and the study of a collection of the *Miscanthus* resource species gene pool in the conditions of the West Siberian forest steppe. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(7):926-932. DOI 10.18699/VJ19.568 (in Russian)

Введение

Среди представителей растительного мира нашей планеты *Miscanthus* (веерник) считается одним из наиболее эффективных аккумуляторов солнечной энергии (Dohleman, Long, 2009). Высокое содержание целлюлозы и значительная биомасса растений позволяют рассматривать его как перспективный альтернативный источник энергии (Lewandowski et al., 2000; McCalmont et al., 2017; Van Der Weijde et al., 2017). Физиологи и биохимики считают виды мискантуса уникальными высокопродуктивными источниками возобновляемого сырья для получения этилена и целлюлозы (Слынько и др., 2013).

Веерник является также ценной мелиоративной культурой. Высокие темпы роста растений, неприхотливость к почвенным условиям, выраженная засухоустойчивость способствовали широкому применению мискантуса для стабилизации и снижения интенсивности процессов эрозии почв (Kahle et al., 1999, 2001).

В конце прошлого века многие отечественные и зарубежные ботанические сады начали вводить в культуру *M. sacchariflorus* и *M. sinensis* в качестве декоративных злаков. Соответственно перспективам их использования в ландшафтной архитектуре разрабатывались критерии отбора *ex situ* – ритмологический и онтогенетический. В XXI в. вышеназванные виды, а также *M. × giganteus* были признаны мировым научным сообществом основными ресурсными видами для разработок в области альтернативной энергетики.

В Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (ЦСБС СО РАН, Новосибирск) изучение видов веерника проводилось с конца 1990-х гг. в составе коллекции газонных и декоративных злаков. В последнее время формирование и исследование коллекционного генофонда родового комплекса *Miscanthus* в соответствии с мировыми тенденциями ведется в двух направлениях: декоративном и биоэнергетическом. Поиск в природе перспективных форм и дальнейшее изучение их биоэнергетического потенциала за пределами естественного ареала потребовали разработки дополнительных критериев отбора, оценки хозяйственно-биологических признаков и свойств.

Регион наших экспедиционных работ по изучению внутривидового полиморфизма видов *Miscanthus* и поиску перспективных образцов – российский Дальний Восток,

где *M. sacchariflorus* приурочен к северным местообитаниям, а *M. sinensis* произрастает южнее. Так, в 2013 г. коллекционный генофонд пополнился образцами *M. sinensis* с п-ова Гамова (Хасанский район Приморского края). В 2017 г. *M. sacchariflorus* был собран в Чугуевском, а *M. sinensis* и, предположительно, *M. purpurascens* – в Хасанском районе Приморского края. Кроме того, собран живой материал на островах Курильской гряды – Шикотане, Кунашире, Итурупе.

В качестве критериев отбора образцов в природе нами выделены биоморфологический и микроэкологический. Во время экспедиций проведен отбор вегетативных частей (часть корневища) у растений с наиболее мощной надземной вегетативной массой. Одновременно отмечались микроэкологические условия произрастания. К неблагоприятным были отнесены: засоленная зона заплеска; участки с засушливой уплотненной почвой; открытые, подверженные ветрам вершины холмов. Растения, отличающиеся в данных местообитаниях нормальным побегообразованием, вполне могут обладать высоким адаптивным потенциалом в более суровых климатических условиях культивирования.

Накопленное в коллекционном генофонде внутривидовое и формовое разнообразие потребовало изучения генетического полиморфизма и проведения ДНК-идентификации. Целью настоящего исследования была молекулярно-генетическая идентификация и гистохимический анализ коллекционного генофонда ЦСБС СО РАН видов рода *Miscanthus* для выявления перспективных форм в качестве технических сырьевых растений.

Материалы и методы

В работе применялся комплексный мультидисциплинарный подход к формированию и паспортизации коллекционного генофонда. При выборе районов исследований и сборе образцов различных видов в природе использовались традиционные методы классической систематики и геоботаники. В естественных местообитаниях при выделении форм для решения конкретных ресурсных задач применялись биоморфологические подходы и проводилось описание микроэкологических условий. У образцов, выбранных для молекулярно-генетических исследований, учитывались фитоценотическая приуроченность, коор-

Таблица 1. Происхождение образцов трех видов *Miscanthus*, проанализированных в работе

Название образца	Место сбора, геогр. координаты
<i>M. sinensis</i>	
<i>M. sinensis_I</i>	П-ов Гамова, Хасанский район. Смотровая площадка по дороге на бухту Витязь. 42°36'24" с. ш., 131°09'56" в. д.
<i>M. sinensis_II</i>	П-ов Гамова, Хасанский район. По дороге на маяк
<i>M. sinensis_III</i>	П-ов Гамова, Хасанский район. По дороге на маяк
<i>M. sinensis_IV</i>	П-ов Гамова, Хасанский район. Бухта Витязь. 42°60'65" с. ш., 131°16'59" в. д.
<i>M. sinensis_V</i>	П-ов Гамова, Хасанский район, 2017. Плато над бухтой Витязь. 42°60'88" с. ш., 131°19'48" в. д.
<i>M. sinensis_VI</i>	П-ов Гамова, Хасанский район. Плато над бухтой Витязь. 42°61'51" с. ш., 131°17'89" в. д.
<i>M. sinensis_VII</i>	П-ов Гамова, Хасанский район, 2017. Зона заплеска в бухте Теляковского. 42°35'25" с. ш., 131°17'74" в. д.
<i>M. sinensis_VIII</i>	П-ов Гамова, Хасанский район
<i>M. sinensis_IX</i>	П-ов Гамова, Хасанский район
<i>M. sinensis_X</i>	П-ов Гамова, Хасанский район. Заправка на повороте на с. Андреевка. 42°40'33" с. ш., 131°06'17" в. д.
<i>M. sacchariflorus</i>	
<i>M. sacchariflorus_I</i>	Сихотэ-Алинь. Одна из самых северных точек ареала. Чугуевский район, не доезжая до р. Покровка. Трасса А181. 44°51'21" с. ш., 134°52'95" в. д.
<i>M. sacchariflorus_II</i>	Сихотэ-Алинь. В той же популяции
<i>M. sacchariflorus_III</i>	Сихотэ-Алинь. Окрестности национального парка «Зов тигра». 43°33'3" с. ш., 134°66'7" в. д.
<i>M. sacchariflorus_IV</i>	Сихотэ-Алинь. 43°53'24" с. ш., 134°12'57" в. д.
<i>M. purpurascens</i>	
<i>M. purpurascens_I</i>	Российский Дальний Восток. Коллекция живых растений ЦСБС (УНУ № USU 440534)
<i>M. purpurascens_II</i>	П-ов Гамова, Хасанский район, гора Туманная. 42°33'54" с. ш., 131°12'34" в. д.

динаты и высота над уровнем моря. В ряде случаев дана характеристика микроэкологических условий.

В исследование был взят материал 16 образцов трех видов: *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* и *M. purpurascens* (табл. 1). Образцы *M. sacchariflorus* были привезены из Чугуевского района Сихотэ-Алиня, а также из окрестностей северной части национального парка «Зов тигра», территория которого включает участки Чугуевского, Ольгинского и Лазовского районов. Этот вид растет здесь на открытых ровных пространствах и залежах, являющихся вторичными сукцессиями.

Сборы *M. sinensis* и *M. purpurascens* проводились в Хасанском районе Приморского края, где виды произрастали в составе кустарниково-разнотравных группировок. Отдельные образцы были взяты в редкостойном кустарниково-разнотравном дубняке (*Quercus dentata* Thunb.) на склоне к бухте Теляковского. Основные работы выполнялись на п-ове Гамова, на абсолютных высотах от 14 до 112 м, где наблюдался широкий спектр микроэкологических условий.

Для молекулярно-генетического анализа с целью уточнения таксономического положения и идентификации образцов использовали высушенные листья растений трех видов мискантуса: *M. sinensis*, *M. sacchariflorus* и *M. purpurascens*, собранные с 15 растений, произрастающих в естественных природных популяциях (см. табл. 1). Кроме того, проанализирован образец *M. purpurascens* из Коллекции живых растений ЦСБС СО РАН (см. табл. 1, *M. purpurascens_I*, УНУ № USU 440534).

Экстракцию ДНК проводили с помощью NucleoSpin Plant II kit (Macherey and Nagel, США). Чистоту и концентрацию полученных экстрактов ДНК определяли спектрофотометрически с помощью Spectrophotometer kinetic и микрокуветы μ -cuvette (Eppendorf, Германия). Чистоту ДНК рассчитывали как соотношение величин оптической силы раствора при длине волн 260 и 280 нм.

Реакционная ПЦР-смесь объемом 25 мкл состояла из: 2.7 mM MgCl₂, 1.25 mM праймера, 0.4 mM мононуклеотидов, 1x PCR-буфера, 1.5 ед. Taq ДНК-полимеразы («Медиген», Россия) и 20–30 нг матрицы. В программу амплификации входили следующие этапы: денатурация ДНК: 90 с при 94 °С; 35 циклов амплификации: 40 с при 94 °С, 45 с при 41–58 °С (отжиг праймера) и 90 с при 72 °С; 5 мин при 72 °С. Амплификация выполнялась в С 1000 Thermal Cycler (BioRad Laboratories, США). Продукты амплификации разделяли методом электрофореза в 0.8 % агарозном геле в 1x TBE-буфере. Полученные ISSR-фрагменты окрашивали SYBR-Green («Медиген»), визуализировали с помощью системы гель-документирования Gel Doc XR+ и анализировали с помощью программного обеспечения Image Lab Software (Bio-Rad Laboratories).

Размер идентифицированных ISSR-фрагментов определяли с помощью молекулярного маркера массы («Медиген»). Каждый амплифицированный фрагмент рассматривался как доминантный маркер, и для каждого из сравниваемых образцов отмечалось его наличие (1) либо отсутствие (0).

Статистическая обработка данных, построение кластерной дендрограммы и анализ главных компонент (Principal Components, PCO) выполнены в программе PAST (Hammer et al., 2001).

Для гистохимического анализа были отобраны сухие вегетативные побеги на заключительной стадии вегетации от трех образцов (IV, V и VI) *M. sinensis* и одного образца (II) *M. purpurascens*, привезенных живыми корневищами из четырех популяций Хасанского района и Приморского края России. Последующая вегетация проходила в однотипных условиях в составе биоресурсной научной коллекции ЦСБС – USU № 440534. Для анализа брали части стебля длиной 10 см от минимальной промышленной высоты – 10 см от уровня почвы.

Дальнейшие исследования проводили в центре коллективного пользования ЦСБС СО РАН. Побеги, начиная от нижней стороны, продольно нарезали скальпелем на бруски длиной около 3 мм, помещали на замораживающий микротом и выполняли продольные сечения 60–90 мкм. Окрашивание осуществляли флороглюцином в соляной кислоте и алциановым синим в уксусной кислоте по стандартным методикам (Барыкина и др., 2004). Кроме того, проверяли возможность дифференцированной окраски этими красителями.

Микроскопирование с фотосъемкой выполняли на световом микроскопе Carl Zeiss Axio Scope A1.

Результаты

Молекулярно-генетический анализ

В исследовании было предварительно испытано 16 ISSR-праймеров, из которых для выполнения анализа в дальнейшем использовали девять (табл. 2), отличавшихся наибольшим количеством и полиморфизмом амплифицированных фрагментов и пригодных для изучения генетической изменчивости растений рода *Miscanthus* на внутри- и межвидовом уровне.

В экстрактах ДНК мискантуса, полученных из высушенных листьев, концентрация равнялась 3–24 нг/мкл. Чистота экстрактов ДНК, выраженная соотношением

Таблица 2. Характеристики ISSR-праймеров, испытанных и выбранных (выделены жирным шрифтом) для исследования генетического полиморфизма видов рода *Miscanthus*

Праймер	Нуклеотидная последовательность, 5'-3'	$T_{отж.}$, °C
814	(CT) ₈ TG	51
17898A	(CA) ₆ AC	45
17898B	(CA) ₆ GT	48
17899A	(CA) ₆ AG	48
17899B	(CA) ₆ GG	42
844A	(CT) ₈ AC	44
844B	(CT) ₈ GC	42
M1	(AC) ₈ CG	56
M2	(AC) ₈ YG	58
M7	(GAC) ₅	46
M11	(CA) ₆ AR	39
M14	(GACA) ₄	47
HB10	(GA) ₆ CC	48
HB12	(CAC) ₃ GC	41
HB14	(CTC) ₃ GC	42
UBS826	(AC) ₈ C	53

A_{260}/A_{280} , варьировала в пределах от 1.25 до 1.83. Анализ межмикросателлитных участков ДНК исследованных образцов с помощью девяти ISSR-праймеров позволил идентифицировать 177 амплифицированных фрагментов длиной от 270 до 1800 п. н. о. На рис. 1 представлен ISSR-профиль образцов, полученный при амплификации с праймером 17899B.

По результатам ISSR-анализа 16 образцов мискантуса разделились на две клады: *Sinensis* и *Sacchariflorus* (рис. 2), что согласуется с видовой принадлежностью каждого

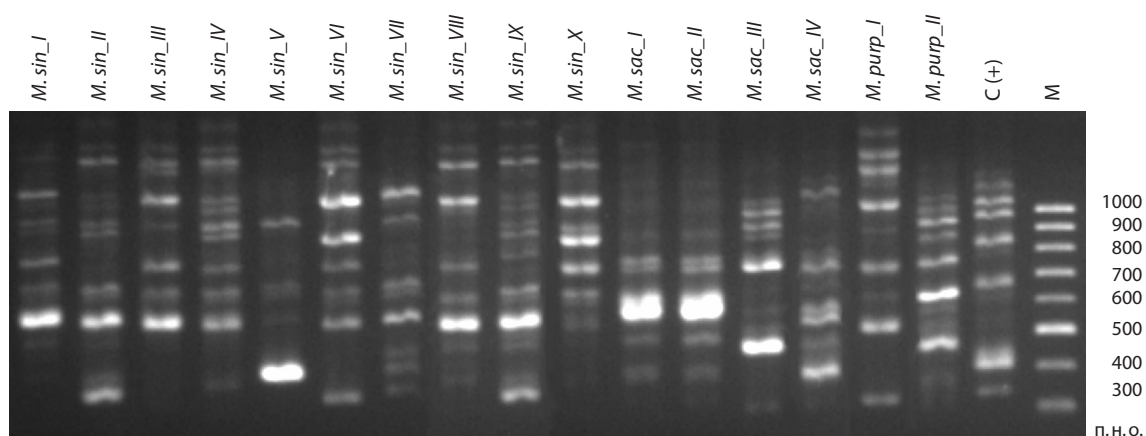


Рис. 1. Электрофореграмма ПЦР-продуктов, полученных при амплификации ДНК трех видов *Miscanthus* и ISSR-праймера 17899B.

C(+) – положительный контроль; M – маркер веса. Обозначения образцов *Miscanthus* см. в табл. 1.

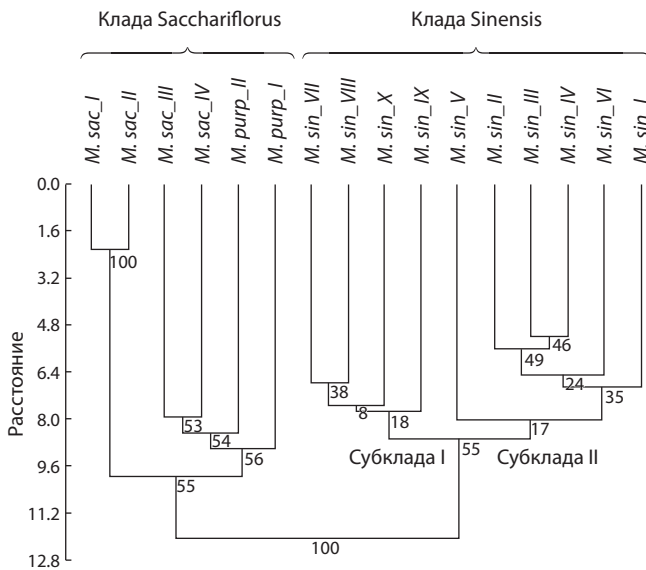


Рис. 2. Кластерная дендрограмма, отражающая величину генетических дистанций между 16 образцами трех видов *Miscanthus*.

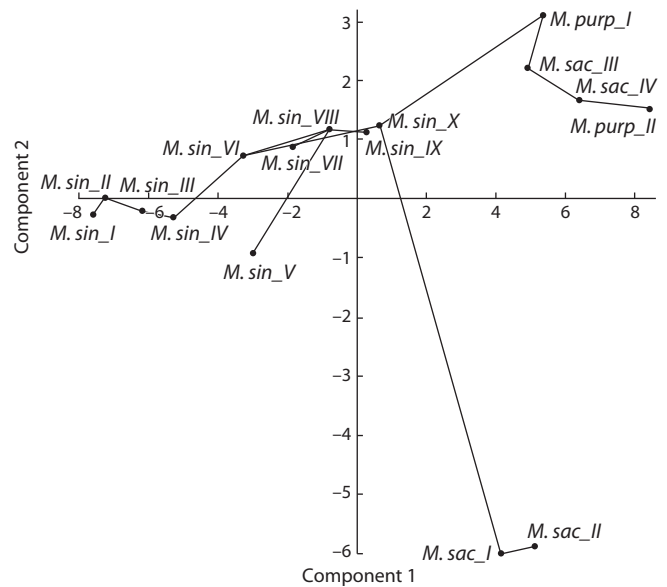


Рис. 3. Распределение 16 образцов трех видов *Miscanthus* по результатам ISSR-маркирования методом главных компонент (PCO).

образца (величина бутстреп-поддержки равна 55). При этом *M. purpurascens* I и II распределились внутри клады Sacchariflorus (см. рис. 2). Принимая во внимание предположительно гибридное происхождение вида *M. purpurascens*, мы склонны оценить полученные данные как подтверждение гипотезы (Jiang et al., 2013).

Примечательно крайне тесное генетическое родство образцов *M. sacchariflorus* I и II (см. рис. 1 и 2). Эти образцы были собраны из одной популяции и имеют почти идентичные ISSR-паттерны, что может свидетельствовать о происхождении обеих особей в результате вегетативного размножения исходного растения.

На основании анализа данных ISSR-маркирования методом главных компонент (PCO) определена дистанция между двумя группами образцов внутри клады

Sacchariflorus (рис. 3). Первая группа включает *M. sacchariflorus* I и II, вторая – *M. sacchariflorus* III, IV и *M. purpurascens* I и II.

Гистохимический анализ

С целью изучения сезонной динамики и особенностей одревеснения соломин были предприняты гистохимические исследования. Результаты химического анализа, выполненного ранее в Институте проблем химико-энергетических технологий СО РАН (г. Бийск), выявили у ряда образцов повышенное содержание лигнина, достигающее $28.1 \pm 0.5\%$ в пересчете на а.с.с. (Дорогина и др., 2018). Обнаружено, что при повышенном содержании лигнина снижается технологическая ценность сырья (Дорогина и др., 2018).

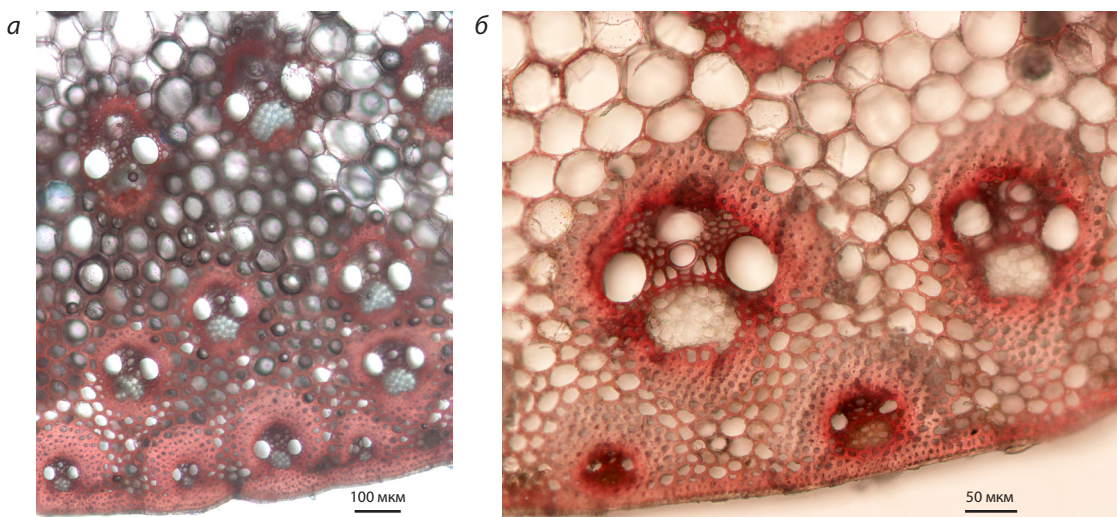


Рис. 4. Срез стебля образцов *M. sinensis*_VI (a) и *M. sinensis*_IV (б).

Окрашивание флороглюцином – альциановым синим.

Проведенный гистохимический анализ показал, что строение побегов у представителей *M. sinensis* сходно с таковым у представителей семейства Poaceae. Соломина снаружи покрыта тонким однослойным эпидермисом, присутствуют слои из радиально расположенной механической ткани с толстыми лигнифицированными оболочками клеток (рис. 4). Наиболее богаты лигнином утолщенные оболочки клеток склеренхимы, расположенные в два слоя вокруг проводящих пучков (см. рис. 4). Мощность механической лигнинсодержащей ткани различается у разных растений: у растения из популяции № 3 лигнифицированная склеренхима менее выражена по сравнению с образцом из популяции № 24 (см. рис. 4, а, б).

Обсуждение

Клада *Sinensis* разделилась на две субклады (см. рис. 2), причем в субкладу I вошли образцы, произраставшие в наименее благоприятных микроэкологических условиях. Так, образец *M. sinensis_VII* собран в бухте Теляковского в зоне заплеска или супралиторали, находящейся на границе моря и суши, выше уровня максимального прилива, что подразумевает более засоленные микроэкологические условия (рис. 5).

Образец *M. sinensis_X* был собран в техногенно нарушенном местообитании, в районе автозаправки при повороте на с. Андреевка, где возможно повышенное воздействие выхлопных газов (см. табл. 1).

Примечательно, что образцы, вошедшие в субкладу II, представляют собой наиболее габитуально мощные растения. По своим морфологическим параметрам особо выделялись *M. sinensis_V* и *M. sinensis_VI*, произраставшие в кустарниково-разнотравной группировке на плато над бухтой Витязь (рис. 6).

Заключение

Проведенный кластерный анализ позволяет предположить, что среди образцов субклады I могут оказаться растения, характеризующиеся устойчивостью и потому являющиеся донорами устойчивости, а среди образцов субклады II – доноры продуктивности. Выявленные молекулярные признаки разных видов мискантуса



Рис. 5. Местообитание *M. sinensis_VII* в зоне заплеска в бухте Теляковского.



Рис. 6. Общий вид *M. sinensis_V* и *M. sinensis_VI*, произрастающих в кустарниково-разнотравной группировке на плато над бухтой Витязь, Приморский край.

могут быть использованы для идентификации и паспортизации форм и линий, перспективных для получения экономически доступного растительного сырья, пригодного для применения в качестве экологически безопасного альтернативного варианта биотоплива.

На основании гистологического анализа побегов *M. sinensis* можно предположить, что некоторые экземпляры накапливают большое количество лигнина в сухих, завершивших вегетацию соломинах, что, вероятно, затруднит промышленную переработку. Поэтому необходимы дополнительные исследования молодых побегов для изучения динамики накопления лигнина. В связи с этим,

возможно, продуктивнее будет ранняя уборка вегетативной массы, а наиболее целесообразен селективный отбор особей, накапливающих меньше лигнина (с наименее развитой склеренхимой).

Список литературы / References

- Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г., Джалилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М., 2004.
[Barykina R.P., Veselova T.D., Devyatov A.G., Dzhililova H.H., I'ina G.M., Chubatova N.V. Handbook of Botanical Microtechnique. Basics and methods. Moscow, 2004. (in Russian)]
- Дорогина О.В., Васильева О.Ю., Нуждина Н.С., Буглова Л.В., Гисматулина Ю.А., Жмудь Е.В., Зуева Г.А., Комина О.В., Цыбченко Е.А. Ресурсный потенциал некоторых видов рода *Miscanthus* Anderss. в условиях континентального климата лесостепи Западной Сибири. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018;22(5):553-559. DOI 10.18699/VJ18.394.
[Dorogina O.V., Vasilyeva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L.V., Gismatulina Yu.A., Zhmud E.V., Zueva G.A., Komina O.V., Tsybchenko E.A. Resource potential of some species of the genus *Miscanthus* Anderss. under conditions of continental climate of West Siberian forest-steppe. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(5):553-559. DOI 10.18699/VJ18.394. (in Russian)]
- Слынько Н.М., Горячковская Т.Н., Шеховцов С.В., Банникова С.В., Бурмакина Н.В., Старостин К.В., Розанов А.С., Нечипоренко Н.Н., Вепрев С.Г., Шумный В.К., Колчанов Н.А., Пельтек С.Е. Биотехнологический потенциал новой технической культуры – мискантус сорт Сорановский. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013;17(4/1):765-771.
[Slynko N.M., Goryachkovskaya T.N., Shekhovtsov S.V., Bannikova S.V., Burmakina N.V., Starostin K.V., Rozanov A.S., Nechiporenko N.N., Veprev S.G., Shumny V.K., Kolchanov N.A., Peltek S.E. The biotechnological potential of the new crop, miscanthus cv. Soranovskii. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2013;17(4/1):765-771. (in Russian)]
- Dohleman F.G., Long S.P. More productive than maize in the Midwest: how does *Miscanthus* do it? Plant Physiol. 2009;150(4):2104-2115. DOI 10.1104/pp.109.139162.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Palaeontol. Electron. 2001;4(1):9. Available at: https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Jiang J., Zhu M., Ai X., Xiao L., Deng G., Yi Z. Molecular evidence for a natural diploid hybrid between *Miscanthus sinensis* (Poaceae) and *M. sacchariflorus*. Plant Syst. Evol. 2013;299:1367-1377.
- Kahle P., Beuch S., Boelcke B., Leinweber P., Schulten H.R. Cropping of *Miscanthus* in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. Eur. J. Agron. 2001;15:171-184.
- Kahle P., Boelcke B., Zacharias S. Effects of *Miscanthus* × *giganteus* cultivation on chemical and physical soil properties. J. Plant Nutr. Soil Sci. 1999;162(1):27-32.
- Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. Biomass Bioenergy. 2000;19(4):209-227.
- McCalmont J.P., Hastings A., McNamara N.P., Richter G.M., Robson P., Donnison I.S., Clinton-Brown J. Environmental costs and benefits of growing *Miscanthus* for bioenergy in the UK. Glob. Change Biol. Bioenergy. 2017;9(3):489-507. DOI 10.1111/gcbb.12294.
- Van Der Weijde T., Kiesel A., Iqbal Y., Muylle H., Dolstra O., Vissler R.G.F., Lewandowski I., Trindade L.M. Evaluation of *Miscanthus sinensis* biomass quality as feedstock for conservation into different bioenergy products. Glob. Change Biol. Bioenergy. 2017;9:176-190. DOI 10.1111/gcbb.12355.

ORCID ID

O.V. Dorogina orcid.org/0000-0001-5729-3594

Благодарности. Исследования выполнены по комплексной программе фундаментальных научных исследований СО РАН II.1. Блок проекта «Исследование морфогенетического потенциала рода веерник (*Miscanthus* Anderss.) и возможности его использования в интродукции и селекции в условиях Западной Сибири», номер гос. регистрации АААА-А17-117120640059-4, и с использованием материалов биоресурсной научной «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» USU 440534. Авторы благодарят заведующего лабораторией криптогамной биоты БСИ ДВО РАН, д.б.н. В.А. Бакалина за большую помощь при проведении экспедиционных работ и консультации по определению видовой принадлежности веерников.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 27.05.2019. После доработки 14.06.2019. Принята к публикации 23.06.2019.