РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2021, том 57, вып. 1, с. 49–57

БИОЛОГИЯ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУРЫ *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS* (POACEAE) В УСЛОВИЯХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. С. Ю. Капустянчик[1, *], В. В. Будаева[2], Ю. А. Гисматулина[2]

[1]*Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал "Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук", р.п. Краснообск, Россия*

[2]*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск, Россия*

**e-mail: kapustyanchik@bionet.nsc.ru*

Поступила в редакцию 19.03.2020 г.
После доработки 31.08.2020 г.
Принята к публикации 10.12.2020 г.

Приведены результаты исследования культуры мискантуса сахароцветного *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. в условиях лесостепи Приобья (Новосибирская обл.). Дано морфологическое описание растений, выявлены фазы развития и сроки их наступления. Трехлетние наблюдения за плантацией *M. sacchariflorus* показали, что при отсутствии семенного размножения, растения способны к активному освоению свободного пространства с помощью корневищ. Определены густота стеблей, морфометрические показатели (длина генеративного побега, облиственность, число соцветий), дана оценка продуктивности надземной и подземной фитомассы. Установлено, что с увеличением густоты стеблей снижается длина генеративного побега, но повышается продуктивность надземной фитомассы (на третий год до 15.9 т/га). Корни и корневища имели существенный прирост за три года вегетации (13.7 т/га), что свидетельствует о высоком потенциале вегетативного размножения культуры. Определение групповых показателей состава фитомассы *M. sacchariflorus* показало высокое содержание целлюлозы (53%) и низкое содержание жировосковой фракции (2%), что свидетельствует о ценности сырья как источника целлюлозы и продуктов ее переработки.

Ключевые слова: Miscanthus sacchariflorus (Maxim.) Hack., культивирование, морфология, фазы развития, продуктивность фитомассы, групповые показатели состава сырья, лесостепная зона, Новосибирская область

DOI: 10.31857/S0033994621010064

В последнее время большое внимание уделяется биоэнергетическим культурам, среди которых многолетние травы занимают особое место в связи с высокой продуктивностью фитомассы и возможностью многолетнего использования плантаций. К одному из самых перспективных источников сырья для промышленного производства относят род многолетних злаков мискантус *Miscanthus*, надземная фитомасса которого относится к нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, не требующим значительных капитальных вложений в создание плантации и оборудование для переработки.

Род *Miscanthus*, входящий в подсемейство Просовые Panicoideae, семейства Злаки Poaceae, имеет высокую продуктивность лигноцеллюлозной фитомассы и используется для производства целлюлозы, биотоплива и новых композитных материалов [1–4].

В мире (Европа, США) имеется достаточно большой опыт выращивания мискантуса. С точки зрения агрономической ценности, *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. был охарактеризован иностранными исследователями как многолетнее растение с высокой эффективностью фотосинтеза, способное произрастать на одном месте до 20 лет и формировать фитомассу, содержащую большое количеством целлюлозы [5, 6]. В Европе и Северной Америке данную культуру использовали как садовое растение, в Азии – как источник соломы и корма для животных. В настоящее время считается, что *M. sacchariflorus* эффективен как биоэнергетическая культура вследствие высокой урожайности и особенностей химического состава фитомассы [7]. В СССР данная культура не выращивалась в связи с отсутствием проблемы дефицита сырья. На сегодняшний день, в России назрела необходимость в качественном недревес-

ном сырье. В последнее время наблюдается повышенный интерес к мискантусу, ведутся работы, как за рубежом, так и в России, по созданию новых адаптированных к разным условиям произрастания генотипов и отбор растений по засухоустойчивости, морозоустойчивости, урожайности, химическому составу фитомассы [8–11].

Виды *Miscanthus*, используемые в качестве технических и биоэнергетических культур, в основном размножаются вегетативно, используются генотипы природного происхождения или гибриды F1.

Одним из наиболее продуктивных таксонов является стерильный триплоид *M. giganteus*. Однако на территории Новосибирской обл. его выращивание, в отличие от *M. sacchariflorus*, невозможно из-за вымерзания корневищ растений.

На сегодняшний день существует необходимость в создании новых широко адаптированных сортов, подходящих для ряда регионов, значительно отличающихся по климатическим показателям, а также выращиваемых на неплодородных землях. Работы в этом направлении ведутся зарубежными исследователями [12–14].

Биологические особенности мискантуса в континентальном климате остаются малоизученными. В связи с этим, цель исследования заключалась в предварительной оценке морфологических признаков, фенологии, продуктивности и групповых показателей состава *Miscanthus sacchariflorus*, культивируемого в условиях Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор материала для исследования морфологических особенностей *Miscanthus sacchariflorus* в культуре в условиях лесостепи Приобья (Новосибирская обл.) осуществлялся на научно-экспериментальной базе Сибирского НИИ растениеводства и селекции (СибНИИРС) – филиала Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЦиГ СО РАН). Географические координаты: 54°53′13.5″ N, 82°59′36.7″ E. Закладка плантации была проведена в 2015 г. Исследования проводились в 2015–2017 гг. Площадь делянок 21 м^2, повторность опыта – 4-х кратная. Для оценки фенологии мискантуса использовалась шкала морфологического развития многолетних трав [15]. Фенологические особенности развития культуры изучали в течение трех вегетационных периодов. Для оценки динамики роста растений определяли накопление сухой фитомассы надземной и подземной части растений. Надземные части растений изучали на площадках 0.25 м^2 в 4-х кратной повторности в течение периода вегетации культуры и оценивали следующие параметры: густота стеблей, длина генеративного побега, облиственность, число узлов на главном стебле, число соцветий, продуктивность. Подземную фитомассу учитывали методом монолитов. Отбор проб осуществляли буровым методом в 5-кратной повторности в период отмирания надземной фитомассы [16]. Для оценки развития корневых систем стальным буром с круглым сечением размером 10.5 × 15 см и объемом 1298.85 см^3 отбирался почвенный слой с корневищами и корнями. Корни и корневища мискантуса выделяли путем промывания почвы водой на сите с диаметром ячеек 0.25 мм. Использовали сита для определения структурного состава почв по методу Н.И. Саввинова. После отмывки и обсушивания корней и корневищ определяли их массу в воздушно-сухом состоянии.

Исследование химического состава сырья основывалось на отборе средних проб с применением стандартных методик анализа растительного сырья [17]. В пересчете на абсолютно сухое сырье (а. с. с.) определяли массовую долю целлюлозы методом Кюршнера, массовую долю кислотонерастворимого лигнина, массовую долю пентозанов, массовую долю жировосковой фракции, зольность.

Планирование эксперимента, наблюдения и оценка результатов опыта выполнены согласно методическим рекомендациям Б.А. Доспехова [18]. Экспериментальные данные подвергнуты стандартной статистической обработке. Результаты представлены в виде средних с доверительными интервалами при уровне значимости $p = 0.05$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологические и ботанические особенности

По типу развития *Miscanthus sacchariflorus* относится к многолетним злакам с замедленным темпом развития. Вид является малотребовательным к почвенным условиям, но лучше произрастает на суглинистых и супесчаных почвах: серых лесных, подзолистых, дерново-подзолистых. Мискантус не отзывается на внесение минеральных удобрений, отличается солеустойчивостью.

В первый год жизни *M. sacchariflorus* формируются одностебельные растения с дальнейшим кущением, степень которого зависит от таких факторов, как условия увлажнения, температура, плодородие почвы. *M. sacchariflorus* относится к длиннокорневищным многолетним травам высотой до 2.0–2.5 м с двумя типами побегов: удлиненными вегетативными с развитыми стеблями без соцветия и генеративными, несущими соцветия. Стебель прямостоячий, устойчивый к полеганию, жесткий. Листья длиной до 0.6 м имеют узкую ланцетно-линейную форму. Абаксиальная поверхность листовой пластины голая неопушен-

Рис. 1. Листовая пластина *M. sacchariflorus* (*a*), соцветие (*b*), корневища (*c*).
Fig. 1. Leaf blade of *M. sacchariflorus* (*a*); panicle (*b*); rhizomes (*c*).

ная, адаксиальная – опушенная, имеет беловатую центральную жилку (рис. 1*a*). Соцветие *M. sacchariflorus* представляет собой веерообразную метелку бледно-фиолетового цвета в начале цветения и бело-серого цвета в конце, длиной до 25 см (рис. 1*b*), имеет короткую ось и длинные веточки.

Корневая система *M. sacchariflorus* мочковатая с множеством придаточных корней и корневищем (рис. 1*c*). Подземные побеги располагаются на глубине 5–20 см от поверхности почвы, что объясняет высокую зимостойкость растения. Корни размещаются в слое почвы от нескольких сантиметров до 1.5 м. Корневища имеют толщину 4–7 мм, округлую или сплюснутую форму. На поверхности корневищ наблюдаются редуцированные листья в виде бесцветных или бурых чешуй, в пазухах которых развиваются боковые почки. При высадке растений отрезками корневищ развиваются новые подземные побеги с придаточными корнями. По мере роста корневища, расстояние между пазушными почками увеличивается до 30–35 мм, вследствие чего появляющиеся надземные побеги не скучены. Вокруг них формируются новые побеги. Это обеспечивает способность растений к быстрому заселению большой площади, при условии отсутствия конкуренции.

Фенологические особенности

M. sacchariflorus введен в культуру из дикорастущих популяций, в которых у растений определение фаз развития является достаточно сложным [19]. В годы исследований *Miscanthus* проходил полный цикл развития – от весеннего отрастания до генеративной стадии, выметывал соцветия, в которых не успевали образоваться

Таблица 1. Даты наступления фенологических фаз у *Miscanthus sacchariflorus*
Table 1. Dates of *Miscanthus sacchariflorus* phenological stages

Фаза развития Development phase	Год опыта Year of observation		
	2015	2016	2017
Посадка Planting	14.05.2015	–	–
Всходы (весеннее отрастание) Seedlings (spring regrowth)	8.06.2015	24.05.2016	24.05.2017
Начало роста междоузлий Beginning of internode elongation	–	02.06.2016	6.06.2017
Кущение Tillering	14.07.2015	–	–
Флаговый лист Flag leaf	25.08.2015	14.07.2016	15.07.2017
Цветение Flowering	18.09.2015	23.08.2016	31.08.2017
Осеннее отмирание Autumn senescence	14.10.2015	30.09.2016	6.10.2017
Продолжительность вегетационного периода, сутки Duration of the growing season, days	129	130	136

семена в связи с недостаточной продолжительностью вегетационного периода. При анализе видимых морфологических изменений отдельных органов растений были выделены фазы вегетации, которые представлены в табл. 1. Продолжительность периода вегетации варьировала в зависимости от погодных условий и составила от 129 дней в 2015 г. до 136 дней в 2017 г. Посадку многолетней плантации осуществляли 14 мая 2015 г. Первые единичные всходы появились через 20 дней, а массовые – через 26 дней. Наступление фазы кущения отмечено через два месяца после посадки растений. Причем, в последующие вегетационные периоды эта фаза отмечалась у незначительного количества растений. К фазе выхода флагового листа, при наличии достаточного пространства, было отмечено появление новых побегов, что свидетельствует о разрастании корневищ (рис. 2). Особенностью 2016 г. было массовое ветвление стеблей (появление боковых ветвей на главном генеративном побеге). Такое явление наблюдалось в условиях достаточного питания растений и при относительно невысокой густоте стеблей. Цветение культуры в год посадки проходило во второй декаде сентября, в последующие годы фаза цветения отмечалась в третьей декаде августа.

Рис. 2. Появление новых побегов *M. sacchariflorus*.
Fig. 2. Emergence of new *M. sacchariflorus* shoots.

Таким образом, фенологические особенности *M. sacchariflorus* на территории Новосибирской обл. следующие: отрастание побегов начинается поздней весной (конец мая), далее происходит нарастание фитомассы, цветение наступает в конце августа и к концу сентября происходит высыхание и отмирание надземных частей растений. Трехлетние наблюдения за разрастающейся плантацией *M. sacchariflorus* показали, что происходит активное освоение свободного пространства подземными и надземными органами растений с образованием дополнительных боковых побегов, размножение осуществляется исключительно вегетативным способом.

Таблица 2. Густота и морфометрические параметры растений в культуре *Miscanthus sacchariflorus*
Table 2. Density and morphometric parameters of *Miscanthus sacchariflorus* in plantings

Год Year	Густота стеблестоя, шт./м^2 Culm density, pcs/м^2		Длина генеративного побега, см The length of the generative shoot, cm		Облиственность, % Leaf coverage, %		Число узлов на главном стебле Number of nodes in the main stem		Число соцветий Number of inflorescences	
	min–max	$\bar{X} \pm s_x$	min–max	$\bar{X} \pm s_x$	min–max	$\bar{X} \pm s_x$	min–max	$\bar{X} \pm s_x$	min–max	$\bar{X} \pm s_x$
2015	58–89	78 ± 15.5	110–151	127 ± 18.8	39–42	47 ± 6.0	7–9	8 ± 0.9	3–6	5 ± 1.4
2016	100–232	150 ± 61.3	212–248	232 ± 18.9	42–47	45 ± 2.0	8–12	10 ± 1.8	18–30	25 ± 5.7
2017	140–240	174 ± 48.2	198–227	224 ± 15.1	41–49	46 ± 2.5	9–11	10 ± 1.0	11–18	14 ± 3.4

Примечание: min–max – максимальное и минимальное значение параметра; $\bar{X} \pm s_x$ –средние арифметические значения и доверительные интервалы при $p = 0.05$.
Note: min–max – maximum and minimum parameter value; $\bar{X} \pm s_x$ – mean values and confidence intervals at $p = 0.05$.

Таблица 3. Продуктивность надземной и подземной фитомассы *Miscanthus sacchariflorus*
Table 3. Productivity of *Miscanthus sacchariflorus* above- and belowground biomass

Год опыта Year of the experiment	Надземная фитомасса, т/га (абс. сух. вещ.) Aboveground biomass,t/ha (absolutely dry matter)	Подземная фитомасса, т/га (абс. сух. вещ.) Underground biomass, t/ha (absolutely dry matter)
2015	0.8 ± 0.2*	4.5 ± 1.3
2016	12.6 ± 2.9	9.6 ± 3.5
2017	15.9 ± 1.2	13.7 ± 1.6

Примечание: * – средние арифметические значения и доверительные интервалы при $p = 0.05$.
Note: * – mean values and confidence intervals at $p = 0.05$.

Характеристика роста надземных побегов M. sacchariflorus

При посадке в 2015 г. корневищами (влажность посадочного материала 40%) *M. sacchariflorus* успешно сформировал надземные побеги, их число на раннем этапе развития составило 13 шт./м^2. Это было обусловлено, прежде всего, достаточной площадью питания, оптимально сложившимися гидротермическими и благоприятными почвенными условиями. В фазу кущения число надземных побегов увеличилось до 35 шт./м^2, их высота составила в среднем 51.4 см. К фазе цветения плотность надземных побегов составила в среднем 78 ± 15 экз./м^2, число соцветий – 5 ± 1 шт./м^2 (табл. 2). На второй год после закладки плантации, число надземных побегов значительно возросло и составило 200 ± 7 экз./м^2 в начале периода вегетации. К фазе цветения их число уменьшилось до 150 ± 61 экз./м^2 при высоте 232 ± 18.9 см. Число соцветий по сравнению с первым годом вегетации увеличилось до 25 ± 6 шт./м^2. При этом число узлов на главном стебле (10) не менялось в 2016–2017 гг.

К третьему году жизни густота стеблей в начале вегетации составила 271 ± 42 шт./м^2, к фазе цветения значение показателя уменьшилось до 192 ± 45 шт./м^2, при этом высота растений и количество соцветий заметно снизились по сравнению с 2016 г. и составили 210 ± 1.3 см и 14 ± 3 шт./м^2 соответственно. Это не отразилось на общей продуктивности, которая в 2017 г. имела максимальное значение по сравнению с предыдущими годами и составила 15.9 ± 1.2 т/га (табл. 3). Трехлетние наблюдения за развитием *M. sacchariflorus* показывают, что с увеличением густоты стеблей снижается высота генеративного побега, но повышается продуктивность надземной фитомассы.

Характеристика роста подземных органов Miscanthus sacchariflorus

Наблюдения за растениями в год посадки (2015 г.) показали, что рост подземных органов начинался в период кущения растений. К окончанию фазы цветения корневища образовывали боковые побеги и новые метамеры. В течение трех вегетационных сезонов (2015–2017 гг.) происходило нарастание фитомассы корней и корневищ (табл. 3). Так, в 2015 г. к концу вегетационного периода продуктивность подземной фитомассы составила 4.5 т/га воздушно-сухой массы при норме посадке 1.4 т/га. В процессе роста корневищ к концу третьего года вегетации (2017 г.) продуктивность подземной

Таблица 4. Групповые показатели состава надземной фитомассы *Miscanthus sacchariflorus* (в пересчете на абсолютно сухое сырье)
Table 4. The component composition of the aboveground biomass of *Miscanthus sacchariflorus* (on absolutely dry weight basis)

Растительный материал Plant material	Целлюлоза по Кюршнеру, % Kürschner cellulose, %	Лигнин, % Lignin, %	Пентозаны, % Pentosans, %	Зола, % Ash, %	Жиро-восковая фракция, % Fatty wax fraction, %
Фитомасса *Miscanthus* второго года вегетации *Misanthus* biomass of the second year of vegetation	53 ± 1*	24.1 ± 0.5	23.1 ± 0.5	3.90 ± 0.05	2.5 ± 0.5
Фитомасса *Miscanthus* третьего года вегетации *Misanthus* biomass of the third year of vegetation	53 ± 1	24.5 ± 0.5	22.0 ± 0.5	4.15 ± 0.05	2.1 ± 0.5

Примечание: * – средние арифметические значения и доверительные интервалы при $p = 0.05$.
Note: * – mean values and confidence intervals at $p = 0.05$.

фитомассы составила 13.7 т/га и приблизилась по величине к надземной фитомассе (15.9 т/га). Исследование показало, что корни и корневища имели существенный прирост за три года вегетации, что свидетельствует о высоком потенциале вегетативного размножения культуры и обеспечивает устойчивость формируемого растениями агроценоза.

Групповые показатели состава

Целлюлоза и лигнин являются основными компонентами лигноцеллюлозного сырья *Miscanthus*. Целлюлоза является основным ресурсом для производства большинства биоматериалов и биотоплива. Лигнин содержит трехмерный полимер на основе фенилпропила, который обеспечивает жесткость структуры и предотвращает набухание лигноцеллюлозы.

Результаты исследования групповых показателей состава надземной фитомассы *M. sacchariflorus* (табл. 4) свидетельствуют о высоком содержании целлюлозы (53%) и низком содержании жировосковой фракции (2%). Лигнин составляет 24.5% при зольности 4.15%. Эти свойства определяют целесообразность использования сырья *M. sacchariflorus* в перерабатывающей промышленности с целью оптимизации стратегий развития биоэнергетики на основе новых видов биотоплива [2]. Следует отметить, что по сравнению с древесиной *M. sacchariflorus* является более дешевым сырьем с высоким экономическим потенциалом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. в культуре на территории Новосибирской обл. позволило охарактеризовать фазы развития вида (всходы, начало роста междоузлий, кущение, флаговый лист, цветение и отмирание) и сроки их наступления в условиях района исследований, установить морфометрические параметры генеративных растений, продуктивность фитомассы надземных и подземных органов и ее изменение в течение 3-х летнего периода с 2015 по 2017 гг. В процессе формирования агроценоза происходило активное освоение свободного пространства подземными и надземными органами растений на основе вегетативного размножения.

В результате наблюдений за развитием *M. sacchariflorus* было установлено, что с увеличением густоты стеблей снижается высота генеративного побега, но повышается продуктивность надземной фитомассы. Данные по приросту подземной фитомассы показали, что корневища составляют существенную ее часть, что способствует побегообразованию, обеспечивает высокий потенциал вегетативного размножения культуры и устойчивость фитоценоза в целом.

Результаты определения групповых показателей состава фитомассы свидетельствуют о высоком содержании целлюлозы (53%) и низком содержании жировосковой фракции (2%), лигнин составляет 24.5% при зольности 4.15%, что подтверждает ценность *M. sacchariflorus* как перспективной технической культуры – источника целлюлозы и продуктов ее переработки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ 0324-2019-0039-С-01) “Генетическая платформа для решения задач селекции растений: фундаментальные исследования и прикладные разработки”. Химический анализ образцов и описание выполнены по проекту “Фундаментальные технологические основы биорефайнинга возобновляемого недревесного сырья” в рамках Государственной программы с регистрационным номером темы АААА-А17-117011910006-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anzoua K.G., Yamada T., Henry R.J.* 2011. *Miscanthus.* – In: Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources (ed. Kole C). Berlin, Heidelberg. P. 157–164.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-21102-7
2. *Brosse N., Dufour A., Meng X., Sun Q., Ragauskas A.* 2012. *Miscanthus*: a fast– growing crop for biofuels and chemicals production. – Biofuel. Bioprod. Biorefin. 6(5): 580–598.
https://doi.org/10.1002/bbb.1353
3. *Lewandowski I., Clifton-Brown J., Trindade L.M., van der Linden G.C., Schwarz K.-U., Müller-Sämann K. et al.* 2016. Progress on optimizing *Miscanthus* biomass production for the European bioeconomy: results of the EU FP7 project OPTIMISC. – Front. Plant Sci. 7: 1620.
https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01620
4. *Boix E., Georgi F., Navard P.* 2016. Influence of alkali and Si-based treatments on the physical and chemical characteristics of *Miscanthus* stem fragments. – Ind. Crops Prod. 91: 6–14.
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.030
5. *Kiesel A., Nunn C., Iqbal Y., van der Weijde T., Wagner M., Özgüven M., Tarakanov I., Kalinina O., Trindade L.M., Clifton-Brown J., Lewandowski I.* 2017. Site-Specific Management of Miscanthus Genotypes for Combustion and Anaerobic Digestion: A Comparison of Energy Yields. – Front. Plant Sci. 8: 347.
https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00347
6. *Heaton E.A., Dohlmeman F.G., Long S.P.* 2008. Meeting US biofuels goals with less land: the potential of Miscanthus. – Glob. Change Biol. 14(9): 2000–2014.
https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x
7. *Шумный В.К., Вепрев С.Г., Нечипоренко Н.Н., Горячковская Т.Н., Слынько Н.М., Колчанов Н.А., Пельтек С.Е.* 2010. Новая форма мискантуса китайского (веерника китайского *Miscanthus sinensis* Anders.) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья. – Вавиловский журнал генетики и селекции. 14(1): 122–126.
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16653338&
8. *Jones M.B., Finnan J., Hodkinson T.R.* 2015. Morphological and physiological traits for higher biomass production in perennial rhizomatous grasses grown on marginal land. – GCB Bioenergy. 7(2): 375–385.
https://doi.org/10.1111/gcbb.12203
9. *Будаева В.В., Севастьянова Ю.В., Гисматулина Ю.А., Золотухин В.Н., Денисова М.Н., Павлов И.Н., Сакович Г.В.* 2015. Особенности бумагообразующих свойств целлюлозы мискантуса. – Ползуновский вестник. 1(4): 78–82.
http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2015_04_1/pdf/078budaeva.pdf
10. *Капустянчик С.Ю.* 2017. Особенности развития и формирования биомассы мискантуса в лесостепи Новосибирского Приобья. – Достижения науки и техники АПК. 31(12): 28–31.
http://agroapk.ru/year-2017/119-archive/12-2017/2353-2017-12-07-ru
11. *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.* 2018. Ресурсный потенциал некоторых видов рода *Miscanthus* Anderss. в условиях континентального климата лесостепи Западной Сибири – Вавиловский журнал генетики и селекции. 22(5): 553–559.
https://doi.org/10.18699/VJ18.394
12. *Shastri Y., Hansen A.C., Rodriguez L.F., Ting K.C.* 2014. Engineering and science of biomass feedstock production and provision. New York. 263 p.
https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8014-4
13. *Donnelly A., Styles D., Fitzgerald J., Finnan J.* 2011. A proposed framework for determining the environmental impact of replacing agricultural grassland with *Miscanthus* in Ireland. – GCB Bioenergy. 3(3): 247–263.
https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01086.x
14. *Gopalakrishnan G., Cristina Negri M., Snyder S.W.* 2011. A novel framework to classify marginal land for sustainable biomass feedstock production. – J. Environ. Qual. 40(5): 1593–1600.
https://doi.org/10.2134/jeq2010.0539
15. *Мустафаев Б.А.* 2007. Практикум по основам луговодства: учебно-методическое пособие по проведению лабораторно-практических занятий. Павлодар. 240 с.
16. *Рожков В.А., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р.* Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории: учеб.-метод. пособие. М. 2008. 51 с.
17. *Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А.* 1991. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М. 320 с.
18. *Доспехов Б.А.* 1985. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. 351 с.
19. *Tejera M.D., Heaton E.A.* 2017. Description and codification of *Miscanthus* × *giganteus* growth stages for phenological assessment. – Front. Plant Sci. 8: 1726.
https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01726

Biological Characteristics of Cultivated *Miscanthus sacchariflorus* (Poaceae) in the Novosibirsk Region

S. Yu. Kapustyanchik[a, *], V. V. Budaeva[b], Yu. A. Gismatulina[b]

[a] *Siberian Research Institute for Plant Cultivation and Breeding, Branch of Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch RAS, Krasnoobsk, Russia*

[b] *Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch RAS (IPCET SB RAS), Biysk, Russia*

**e-mail: kapustyanchik@bionet.nsc.ru*

Abstract—The paper presents three-year data on the development and yield of *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. in the Ob forest-steppe (Novosibirsk region). Species morphological description and studies of the raw materials chemical composition were performed. Three-year observations of the *Miscanthus* plantation have shown that plants efficiently colonize available space by above– and belowground organs, forming additional lateral shoots and reproducing exclusively by vegetative means. Morphometric indices for the flowering and dying-off stages were defined (stem density, shoot length, foliage, yield of dry aboveground and underground biomass). It has been established that with the increase in stem density the length of generative shoot decreased, while the aboveground biomass production increased (up to 15.9 t/ha on the third year). Rhizomes comprised the major part of the belowground biomass and had a significant increase reaching 13.7 t/ha over three years of vegetation. Biomass chemical composition study showed high content of cellulose (53%) and low – of fatty wax fraction (2%). This confirms value of *Miscanthus* as a source of quality cellulose and its chemical and biotechnological derivatives.

Keywords: Miscanthus, phenotypic features, morphology, chemical composition

ACKNOWLEDGEMENTS

The present study was carried out within the framework of the State research assignment № 0324-2019-0039-C-01 “Genetic foundations for solving plant breeding problems: basic research and applied solutions”. Description and chemical analyses of the samples were carried out under the project “Fundamental technological bases for biorefining of renewable non-wood raw materials” (State research registration number AAAA-A17-117011910006-5).

REFERENCES

1. *Anzoua K.G., Yamada T., Henry R.J.* 2011. *Miscanthus*. – In: Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources (ed. Kole C). Berlin, Heidelberg. P. 157–164. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21102-7
2. *Brosse N., Dufour A., Meng X., Sun Q., Ragauskas A.* 2012. *Miscanthus*: a fast- growing crop for biofuels and chemicals production. – Biofuel. Bioprod. Biorefin. 6(5): 580–598. https://doi.org/10.1002/bbb.1353
3. *Lewandowski I., Clifton-Brown J., Trindade L.M., van der Linden G.C., Schwarz K.-U., Müller-Sämann K. et al.* 2016. Progress on optimizing *Miscanthus* biomass production for the European bioeconomy: results of the EU FP7 project OPTIMISC. – Front. Plant Sci. 7: 1620. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01620
4. *Boix E., Georgi F., Navard P.* 2016. Influence of alkali and Si-based treatments on the physical and chemical characteristics of *Miscanthus* stem fragments. – Ind. Crops Prod. 91: 6–14. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.030
5. *Kiesel A., Nunn C., Iqbal Y., van der Weijde T., Wagner M., Özgüven M., Tarakanov I., Kalinina O., Trindade L.M., Clifton-Brown J., Lewandowski I.* 2017. Site-Specific Management of Miscanthus Genotypes for Combustion and Anaerobic Digestion: A Comparison of Energy Yields. – Front. Plant Sci. 8: 347. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00347
6. *Heaton E.A., Dohlmeman F.G., Long S.P.* 2008. Meeting US biofuels goals with less land: the potential of Miscanthus. – Glob. Change Biol. 14(9): 2000–2014. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x
7. *Shumny V.K., Veprev S.G., Nechiporenko N.N., Goryachkovskaya T.N., Slynko N.M., Kolchanov N.A., Peltek S.E.* 2010. A new variety of Chinese silver grass (*Miscanthus sinensis* Anders.) is a promising source of cellulosic material. – Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 14 (1): 122–126. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16653338& (In Russian)
8. *Jones M.B., Finnan J., Hodkinson T.R.* 2015. Morphological and physiological traits for higher biomass production in perennial rhizomatous grasses grown on marginal land. – GCB Bioenergy. 7(2): 375–385. https://doi.org/10.1111/gcbb.12203

9. *Budaeva V.V., Sevastyanova Yu.V., Gismatulina Yu.A., Zolotukhin V.N., Denisova M.N., Pavlov I.N., Sakovich G.V.* 2015. [Features of the papermaking properties of *Miscanthus* cellulose]. – Polzunovsky vestnik. 1(4): 78–82. http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2015_04_1/pdf/078budaeva.pdf (In Russian)
10. *Kapustyanchik S.Yu.* 2017. Peculiarities of development and biomass formation of *Miscanthus* in the forest-steppe of Novosibirsk Ob region. – Achievements of Science and Technology of AIC. 31(12): 28–31. http://agroapk.ru/year-2017-en/118-archive-en/12-2017-en/2376-2017-12-07-en (In Russian)
11. *Dorogina O.V., Vasilieva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L., V., Gismatulina Yu.A., Zhmud E.V., Zueva G.A., Komina O.V. Tsybchenko E.A.* 2018. Resource potential of some species of the genus *Miscanthus* Anderss. under conditions of continental climate of Western Siberian forest-steppe. – Vavilov J. Genetics and Breeding. 22(5): 553–559. https://doi.org/10.18699/VJ18.394
12. *Shastri Y., Hansen A.C., Rodriguez L.F., Ting K.C.* 2014. Engineering and science of biomass feedstock production and provision. New York. 263 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8014-4
13. *Donnelly A., Styles D., Fitzgerald J., Finnan J.* 2011. A proposed framework for determining the environmental impact of replacing agricultural grassland with *Miscanthus* in Ireland. – GCB Bioenergy. 3(3): 247–263. https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01086.x
14. *Gopalakrishnan G., Cristina Negri M., Snyder S.W.* 2011. A novel framework to classify marginal land for sustainable biomass feedstock production. – J. Environ. Qual. 40(5): 1593–1600. https://doi.org/10.2134/jeq2010.0539
15. *Mustafaev B.A.* 2007. [Practical course on the basics of meadow farming: training manual for laboratory practicum]. Pavlodar. 240 p. (In Russian)
16. *Rozhkov V.A., Kuznetsova I.V., Rakhmatulloev Kh.R.* [Methods for studying plant root systems in field and laboratory]. Moscow. 2008. 51 p. (In Russian)
17. *Obolenskaya A.V., Elnitskaya Z.P., Leonovich A.A.* 1991. [Laboratory manual on wood and cellulose chemistry]. Moscow. 320 p. (In Russian)
18. *Dospekhov B.A.* 1985. Methods of field experiments: (with fundamentals of statistical processing of research results). Moscow. 351 p. (In Russian)
19. *Tejera M.D., Heaton E.A.* 2017. Description and codification of *Miscanthus* × *giganteus* growth stages for phenological assessment. – Front. Plant Sci. 8: 1726. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01726