

УДК 581.192

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАЗНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ МИСКАНТУСА УРОЖАЯ 2014 ГОДА

Гисматулина Ю.А.

ФГБУН «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), Бийск, e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru

В данной работе определен химический состав целого растения и разных морфологических частей (листа и стебля) мискантуса сорта Сорановский – мискантус китайский (веерник китайский *Miscanthus sinensis* Anderss.) урожая 2014 года (возраст 4 года), выращенного на плантации ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск, Алтайский край). Массовая доля основного компонента – целлюлозы в целом растении составляет 53,1%, массовая доля нецеллюлозных компонентов: жировосковой фракции, золы и лигнина составляет 4,98; 5,87 и 22,0% соответственно. Установлено, что целлюлоза превалирует в стебле мискантуса (55,7% против 43,3%), а нецеллюлозные компоненты (жировосковая фракция, зола, кислоторастворимый лигнин) – в листе. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для выделения целлюлозы целесообразней использовать стебель мискантуса с целью получения целлюлозы высокого качества и с большим выходом.

**Ключевые слова:** мискантус сорта Сорановский, жировосковая фракция, целлюлоза по Кюршнеру, зольность, пентозаны, кислоторастворимый лигнин

## CHEMICAL COMPOSITION OF DIFFERENT MORPHOLOGICAL PARTS OF MISCANTHUS HARVESTED IN 2014

Gismatulina Y.A.

Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru

The study determines chemical compositions of the whole plant and different morphological parts (leaf and stem) of *Miscanthus* var. «Soranskiy» – *Miscanthus sinensis* (Chinese silver grass *Miscanthus sinensis* Andersson) – harvested in 2014 (age: 4 years) and cultivated on an IPCET SB RAS plantation (Biysk, Altai Krai). The mass fraction of the basic constituent, cellulose, in the whole plant is 53,1% and the mass fractions of non-cellulosic components are as follows: fat-wax content 4,98%, ash content 5,87%, and lignin content 22,0%. Cellulose was found to prevail in the *Miscanthus* stem (55,7% versus 43,3%) while the non-cellulosic components (fat-wax fraction, ash, and acid-insoluble lignin) were prevalent in the leaf. The findings indicate that for the cellulose isolation, it is advisable to utilize the *Miscanthus* stem in order to isolate cellulose of high quality and in high yield.

**Keywords:** *Miscanthus* var. 'Soranskiy', fat-wax fraction, Kirschner cellulose, ash content, pentosans, acid-insoluble lignin

Целлюлоза является наиболее распространенным природным биополимером. Благодаря ряду ценных свойств, таких как высокая прочность, биосовместимость, нетоксичность, биоразлагаемость и доступность, – целлюлоза является востребованным продуктом многоцелевого назначения и стартовой основой для получения широкого спектра новых материалов [10]. Промышленно освоенными видами сырья для получения целлюлозы являются хлопок и древесина. В последнее время из-за отсутствия на отечественном рынке целлюлозного сырья все больший интерес проявляется к дешевому и ежегодно возобновляемому сырью. В работах [5, 11] авторы Н.Г. Григорьева и О.Т. Шишина рассматривают в качестве целлюлозосодержащего сырья травянистые растения, такие как лен, рапс, донник, люцерна, подсолнечник, конопля, камыш и др., И.А. Вшивкова с коллегами [3] в качестве сырья для пероксидной целлюлозы исследуют пшеничную соло-

му, А.В. Вураско с коллегами [2] – солому и шелуху риса, А.М. Михаилиди и др. [8] – древесину пальмы *Howea fosteriana*, кактус *Cereus Peruvians* и ствольную часть драцены *Dracaena Sanderiana*, Ю.А. Гисматулина с коллегами – мискантус и солому льна-межеумка [4].

Особый интерес представляет энергетическая культура мискантус – род многолетних травянистых растений семейства мятликовых. По мнению Г.А. Булаткина и Г.В. Митенко [1], в ближайшие годы среди энергетических культур основное внимание будет отведено мискантусу китайскому (*Miscanthus sinensis* Andersson). За рубежом активно ведутся исследования по возможности использования различных видов мискантуса: в основном мискантуса гигантского (*Miscanthus giganteus*), мискантуса китайского (*Miscanthus sinensis*) и мискантуса сахароцветкового (*Miscanthus sacchariflorus*) [15]. В России в 2006 году в ИЦиГ СО РАН выведена авторская форма

мискантуса китайского сорта Сорановский (веерник китайский *Miscanthus sinensis Andersson*) с измененной структурой корневой системы, образующей длинные побеги с ростовыми почками и быстро колонизирующей почвенное пространство, создавая сплошную и ровную (без кочек) плантацию мискантуса. Мискантус не требователен к почвам и имеет высокий прирост биомассы на уровне 10–15 т/га/год. Максимальная продуктивность посадок достигается на 3–4-й год, после чего ежегодный урожай биомассы сохраняется до 15–20 лет. Данный вид мискантуса В.К. Шумный и др. [12] рассматривают как перспективное целлюлозосодержащее сырье для России.

**Целью** данной работы являлось исследование химического состава мискантуса сорта Сорановский, выращенного на делянке ИПХЭТ СО РАН в 2014 году, возраст посадки четыре года: растения в целом, листа и стебля отдельно.

#### Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся мискантус сорта Сорановский – *Miscanthus sinensis Andersson*, веерник китайский, урожая 2014 года (возрастом четыре года), выращенный на экспериментальной делянке ИПХЭТ СО РАН в 2014 году при полном отсутствии агротехнических приемов (подкормки, полива, рыхления и борьбы с сорняками).

Сбор урожая проводили в октябре 2014 года. Масса всего урожая 26,8 кг, урожайность – 0,74 кг на 1 м<sup>2</sup>. Средняя масса одного растения – 0,010 кг. Плотность посадки составила 74 растения на 1 м<sup>2</sup>. Средняя длина одного растения – 2,00 м, некоторые растения достигали высоты 2,30 м.

Для исследования химического состава мискантуса брали зрелые растения с наибольшей высотой и соцветиями-метелками, характеризующими спелость мискантуса. Растение разделяли на морфологические части: лист и стебель отдельно. Измельчение всех образцов мискантуса проводили ножницами.

Определение зольности (в пересчете на абсолютно сухое сырье – а.с.с.), массовой доли (м.д.) экстрактивных веществ – жировосковой фракции (ЖВФ) (экстрагент – дихлорметан, а.с.с.), м.д. кислотонерастворимого лигнина (а.с.с.), м.д. целлюлозы методом Кюршнера (а.с.с.) проводили по стандартным методам анализа растительного сырья [9]. Влажность

определяли на анализаторе влажности MB 23/MB 25 («OHAUS», США).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав мискантуса сорта Сорановский урожая 2014 года (возраст 4 года), выращенного на плантации ИПХЭТ СО РАН: растение в целом, лист и стебель отдельно – представлен в таблице и для наглядности полученных результатов на рисунке.

Как следует из представленных данных, растение в целом характеризуется м.д. ЖВФ 4,98%, зольностью 5,87%, м.д. кислотонерастворимого лигнина 22,0%, м.д. пентозанов 21,0%, м.д. целлюлозы 53,1%. Полученные результаты согласуются с зарубежными данными для различных генотипов мискантуса в части основных компонентов: целлюлозы и лигнина [13, 15].

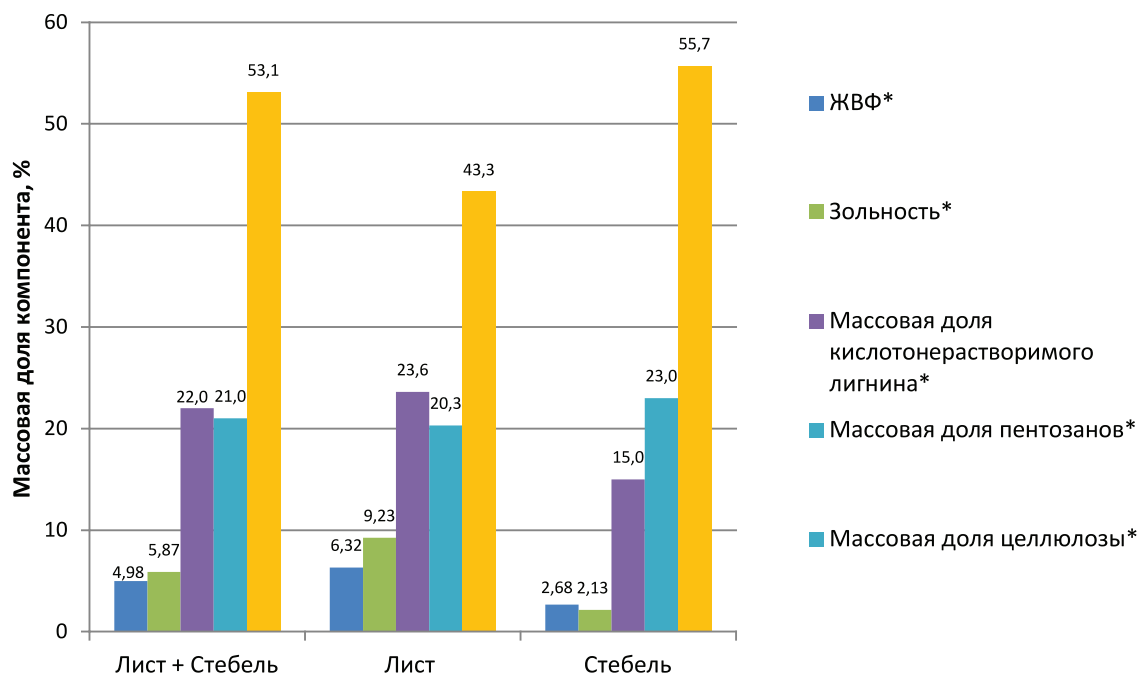
Сравнение химического состава листа и стебля отдельно свидетельствует о более высоком содержании нецеллюлозных примесей в листьях мискантуса: ЖВФ (6,32% против 2,86%), золы (9,32% против 2,13%), кислотонерастворимого лигнина (23,6% против 15,0%), за исключением м.д. пентозанов, которых больше в стебле, чем в листе (23,0% против 20,3%). Сравнение листа и стебля по м.д. целлюлозы указывает на то, что целлюлоза больше сосредоточена в стебле и составляет 55,7% против 43,3%. Разрыв между значениями м.д. целлюлозы в стебле и в листе значителен – 12,4%.

Следует отметить, что в 1983 году в Киеве П.Г. Кроткевич с коллегами [6] аналогичным образом исследовал химический состав листа и стебля выращенного в ботаническом саду мискантуса китайского – *Miscanthus sinensis Andersson*. В результате было показано, что целлюлоза сосредоточена в большей степени в стебле, чем в листе (54,3% против 45,1%), а зола, лигнин и пентозаны – в листе, что полностью согласуется с нашими результатами, приводимыми в данной статье про мискантус сорта Сорановский.

Химический состав мискантуса сорта Сорановский урожая 2014 года (возраст 4 года), выращенного на плантации ИПХЭТ СО РАН: растение в целом, лист и стебель отдельно

Морфологическая часть мискантуса	М.д. ЖВФ*, %	Зольность*, %	М.д. лигнина*, %	М.д. пентозанов*, %	М.д. целлюлозы по Кюршнеру*, %
Целое растение	4,98 ± 0,05	5,87 ± 0,05	22,0 ± 0,5	21,0 ± 0,5	53,1 ± 0,5
Лист	6,32 ± 0,05	9,23 ± 0,05	23,6 ± 0,5	20,3 ± 0,5	43,3 ± 0,5
Стебель	2,68 ± 0,05	2,13 ± 0,05	15,0 ± 0,5	23,0 ± 0,5	55,7 ± 0,5

Примечания: \* – в пересчете на а.с.с.; м.д. – массовая доля; ЖВФ – жировосковая фракция.



*Химический состав мискантуса сорта Сорановский урожая 2014 года (возраст 4 года), выращенного на плантации ИПХЭТ СО РАН: растение в целом, лист и стебель отдельно, %  
\* – в пересчете на абсолютно сухое сырье*

Такие результаты сравнения позволяют сделать вывод о том, что независимо от места произрастания и возраста растения стебель этого растения характеризуется большим содержанием целлюлозы и меньшим содержанием нецеллюлозных компонентов, в сравнении с листом. Такого рода закономерности были описаны для соломы злаковых культур в книге Run-Cang Sun [7]. Что касается непосредственно различных генотипов зарубежного мискантуса, то отсутствует информация о количественных различиях компонентного состава листа и стебля. В соответствии с зарубежными источниками [13, 15] в переработку на топливо, волокно и химические реагенты рекомендовано использовать мискантус в целом без удаления листа.

Кроме того, полученные результаты по урожаю 2014 года согласуются с ранее проведенными исследованиями по определению химического состава листа и стебля более ранних урожаев мискантуса, выращенного в Алтайском крае [14] и Новосибирской области.

### Выводы

Определен химический состав целого растения и разных морфологических частей (листа и стебля) мискантуса сорта Соранов-

ский урожая 2014 года (возраст 4 года), выращенного на плантации ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск, Алтайский край). Массовая доля основного компонента – целлюлозы в целом растении составляет 53,1%, массовая доля нецеллюлозных компонентов: жировосковой фракции, зола и лигнина – составляет 4,98%, 5,87 и 22,0% соответственно. Установлено, что целлюлоза превалирует в стебле мискантуса (55,7% против 43,3%), а нецеллюлозные компоненты (жировосковая фракция, зола, кислоторастворимый лигнин) – в листе.

Полученные результаты указывают на то, что для выделения целлюлозы целесообразней использовать стебель мискантуса с целью получения целлюлозы высокого качества и с большим выходом. Преимущественное содержание гидролизуемых компонентов (целлюлозы и пентозанов), 64–79%, свидетельствует о бесспорном высоком биотехнологическом потенциале мискантуса сорта Сорановский.

### Список литературы

1. Булаткин Г.А., Митенко Г.В. Перспективная энергетическая культура // Экологический вестник России. – 2013. – № 7. – С. 31–36.
2. Вураско А.В., Дрикер Б.Н., Мозырева Е.А., Земнухова Л.А., Галимова А.Р., Гулемина Н.Н. Ресурсосберегающая

технология получения целлюлозных материалов при переработке отходов сельскохозяйственных культур // *Химия растительного сырья*. – 2006. – № 4. – С. 5–10.

3. Вшивкова И.А., Пен Р.З., Каретникова Н.В. Свойства пероксидной целлюлозы из однолетних растений. 1. Кинетика делигнификации пшеничной соломы надуксусной кислотой // *Химия растительного сырья*. – 2012. – № 4. – С. 13–17.

4. Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Золотухин В.Н. Получение целлюлозы из мискантуса и соломы льна-межеумка азотнокислым и комбинированным способами / Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы 6-й Всероссий. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с межд. участием, г. Бийск, 24–26 мая 2012 г. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – С. 270–274.

5. Григорьева Н.П., Нугманов О.К., Нусинович Д.С., Сопин В.Ф., Лебедев Н.А. Технология получения целлюлозы из травянистых растений и ее свойства // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2011. – № 3. – С. 165–168.

6. Кроткевич П.Г., Шумейко К.И., Волошина Л.А., Нестерчук Е.Н., Петрунь И.И. Морфологические особенности и химический состав *Miscanthus sinensis* Anders. как сырья для целлюлозно-бумажной промышленности // *Растительные ресурсы*. – 1983. – Т. XIX. – Вып. 3. – С. 321–323.

7. Лендьял П., Моравли Ш. Химия и технология целлюлозного производства / пер. с нем. Ф.Б. Дубровинской под ред. А.Ф. Тищенко. – М.: Лесн. промышленность, 1978. – С. 131–133, 447–450.

8. Михайлиди А.М., Котельникова Н.Е., Генш К.В., Кушнир Е.Ю., Базарнова Н.Г. Состав и свойства древесины и целлюлозы тропических пород растений // *Химия растительного сырья*. – 2013. – № 1. – С. 15–28.

9. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Экология, 1991. – С. 73–75, 79–80, 106–107, 161–164.

10. Ткачева Н.И., Морозов С.В., Григорьев И.А., Могнонов Д.М., Колчанов Н.А. Модификация целлюлозы – перспективное направление в создании новых материалов // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б*. – 2013. – Т. 55. – № 8. – С. 1086–1107.

11. Шипина О.Т., Гараева М.Р., Александров А.А. ИК-спектроскопические исследования целлюлозы из травянистых растений // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2009. – № 6. – С. 148–152.

12. Шумный В.К., Вепрев С.Г., Нечипоренко Н.Н., Горячковская Т.Н., Слынько Н.М., Колчанов Н.А., Пельтек С.Е. Новая форма Мискантуса Китайского (Веерника Китайского *Miscanthus Sinensis* Anders.) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья // *Вестник ВОГиС*. – 2010. – Т. 14. – № 1. – С. 122–126.

13. Brosse N., Dufour A., Meng X., Sun Q., Ragauskas A. *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production // *Biofuels, Bioprod., Bioref.* – 2012. – Vol. 6. – I. 5. – P. 580–598.

14. Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Veprev S.G., Sakovich G.V., Shumny V.K. Cellulose from Various Parts of Soranovskii *Miscanthus* // *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. – 2015. – Vol. 5. – № 1. – P. 60–68.

15. Michael B. Jones, Mary Walsh. *Miscanthus: For Energy and Fibre*. Published by Earthscan, 2001. – 192 p.

## References

1. Bulatkin G.A., Mitenko G.V. Perspektivnaja jenergeticheskaja kultura // *Jekologicheskij vestnik Rossii*. 2013. no. 7. pp. 31–36.

2. Vurasko A.V., Driker B.N., Mozyreva E.A., Zemnuhova L.A., Galimova A.R., Gulemina N.N. Resursosberegajushhaja tehnologija polucheniya celljuloznyh materialov pri pererabotke othodov selskhozajstvennyh kultur // *Himija rastitelnogo syrja*. 2006. no. 4. pp. 5–10.

3. Vshivkova I.A., Pen R.Z., Karetnikova N.V. Svoystva peroksidnoj celljulozy iz odnoletnih rastenij. 1. Kinetika delignifikacii pshenichnoj solomy naduksusnoj kislotoj // *Himija rastitelnogo syrja*. 2012. no. 4. pp. 13–17.

4. Gismatulina Ju.A., Budaeva V.V., Zolotuhin V.N. Poluchenie celljulozy iz miskantusa i solomy lna-mezheumka azotnokislym i kombinirovannym sposobami / *Tehnologii i oborudovanie himicheskoj, biotehnologicheskoy i pishhevoj promyshlennosti: materialy 6-j Vseross. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh s mezhd. uchastiem, g. Bijsk, 24–26 maja 2012 g.* Bijsk: Izd-vo Alt. gos. tehn. un-ta, 2013. pp. 270–274.

5. Grigoreva N.P., Nugmanov O.K., Nusinovich D.S., Sopin V.F., Lebedev N.A. Tehnologija polucheniya celljulozy iz travjanistyh rastenij i ee svoystva // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2011. no. 3. pp. 165–168.

6. Krotkevich P.G., Shumejko K.I., Voloshina L.A., Nesterchuk E.N., Petrun I.I. Morfologicheskie osobennosti i himicheskij sostav *Miscanthus sinensis* Anders. kak syrja dlja celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti // *Rastitelnye resursy*. 1983. T. XIX. Vyp. 3. pp. 321–323.

7. Lendel P., Moravli Sh. *Himija i tehnologija celljuloznogo proizvodstva / Per. s nem. F.B. Dubrovinskoj pod red. A.F. Tishhenko. M.: Lesn. promyshlennost, 1978. pp. 131–133, 447–450.*

8. Mihailidi A.M., Kotelnikova N.E., Gensh K.V., Kushnir E.Ju., Bazarnova N.G. Sostav i svoystva drevesiny i celljulozy tropicheskikh porod rastenij // *Himija rastitelnogo syrja*. 2013. no. 1. pp. 15–28.

9. Obolenskaja A.V., Elnickaja Z.P., Leonovich A.A. Laboratornye raboty po himii drevesiny i celljulozy. M.: Jekologija, 1991. pp. 73–75, 79–80, 106–107, 161–164.

10. Tkacheva N.I., Morozov S.V., Grigorev I.A., Mognonov D.M., Kolchanov N.A. Modifikacija celljulozy perspektivnoe napravlenie v sozdanii novyh materialov // *Vysokomolekuljarnye soedinenija. Serija B*. 2013. T. 55. no. 8. pp. 1086–1107.

11. Shipina O.T., Garaeva M.R., Aleksandrov A.A. IK-spektroskopicheskie issledovanija celljulozy iz travjanistyh rastenij // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2009. no. 6. pp. 148–152.

12. Shumnyj V.K., Veprev S.G., Nechiporenko N.N., Gorjachkovskaja T.N., Slynko N.M., Kolchanov N.A., Peltek S.E. Novaja forma Miskantusa Kitajskogo (Veernika Kitajskogo *Miscanthus Sinensis* Anders.) kak perspektivnyj istochnik celljulozosoderzhashhego syrja // *Vestnik VOGiS*. 2010. T. 14. no. 1. pp. 122–126.

13. Brosse N., Dufour A., Meng X., Sun Q., Ragauskas A. *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production // *Biofuels, Bioprod., Bioref.* 2012. Vol. 6. I. 5. pp. 580–598.

14. Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Veprev S.G., Sakovich G.V., Shumny V.K. Cellulose from Various Parts of Soranovskii *Miscanthus* // *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2015. Vol. 5. no. 1. pp. 60–68.

15. Michael B. Jones, Mary Walsh. *Miscanthus: For Energy and Fibre*. Published by Earthscan, 2001. 192 p.

## Рецензенты:

Базарнова Н.Г., д.х.н., профессор, декан химического факультета, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул;

Земнухова Л.А., д.х.н., профессор кафедры химических и ресурсосберегающих технологий, Дальневосточный федеральный университет, заведующая лабораторией химии редких металлов, ФГБУН «Институт химии» ДВО РАН, г. Владивосток.