

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИСКАНТУСА (*MISCANTHUS* SPP.) ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ХЛОРОФИЛЛА

А.А. Анисимов

аспирант, кафедра физиологии растений, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
E-mail: alanis152@mail.ru

Н.Ф. Хохлов

д.с.-х.н., профессор, кафедра земледелия и методики опытного дела, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

И.Г. Тараканов

д.б.н., профессор, зав. кафедрой физиологии растений, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Изучены эколого-физиологические аспекты продукционного процесса растений мискантуса различных видов и форм (*M. sinensis*, *M. sacchariflorus*, *M. giganteus*, *M. x hybrid*) с целью получения биологически активного вещества – хлорофилла. Показана принципиальная возможность использования представителей рода мискантус в качестве источника хлорофилла. Определены оптимальные сроки уборки биомассы для обеспечения максимального уровня выхода хлорофилла. Установлено, что наивысшие показатели уровня накопления пигмента наблюдаются в начальные периоды вегетации, при этом наибольший выход можно получить при накоплении достаточного количества биомассы; наиболее подходящий вид для получения хлорофилла – растения *M. x hybrid*.

Ключевые слова: мискантус, биоэкономика, биологически активные вещества, хлорофилл, пигменты.

В современном мире в условиях возрастающего антропогенного воздействия на окружающую среду и изменения образа жизни человека в сторону снижения физических нагрузок всё большую актуальность приобретает поиск и изучение возможности получения биологически активных веществ из растительного материала, которые могли бы не только разнообразить рацион, но и стать компонентом лекарственных средств и пищевых добавок [1].

Среди большого количества биологически активных веществ можно выделить хлорофилл – зелёный пигмент растений, играющий ключевую роль в процессе фотосинтеза. Однако и в организме человека и животных хлорофилл способен выступать в качестве вещества, оказывающего гипотензивное, антисклеротическое, спазмолитическое, обезболивающее и противоревматоидное действие. Хлорофилл и его производные входят в состав целого ряда лекарственных препаратов и биологически активных добавок [2].

Традиционно источником хлорофилла для пищевых и медицинских целей служили различные виды как низших (например, представители рода Спирулина – *Arthrospira spp.*) так и высших растений (например, представители рода Люцерна – *Medicago spp.*). Однако список потенциальных источников хлорофилла расширяется, и с недавних пор в их число вошли растения рода Мискантус (*Miscanthus spp.*) [2–4].

Все представители рода *Miscanthus* семейства *Poaceae* – многолетние корневищные травы, которые могут выращиваться на одном участке более двадцати лет [5]. Для мискантуса свойственен C₄-путь фотосинтеза, что влечёт за собой высокую продуктивность (которая при оптимальных условиях внешней среды может достигать 40 т сухой биомассы с 1 га и более). Кроме того, мискантусы обладают способностью поддерживать высокую интенсивность фотосинтеза даже в условиях сравнительно низких температур, что позволяет выращивать их в более северных областях по сравнению с традиционными C₄-растениями [6]. В соцветиях мискантуса китайского обнаружены флавоноидные гликозиды, а в траве и корневищах – флавоноид трисин, фриделин, лупеол, ацетат лупеола, фриенол и изоарборинол [7].

Биомасса мискантуса может быть использована для целого ряда нужд; это производство биотоплива и топливных брикетов, получение композитных материалов, производство бумаги, мульчирование, подстилка для лошадей и скота, компонент субстрата для растений, строительный материал, источник биологически активных веществ (хлорофилла) и многое другое [5, 8].

Цель исследования – изучение продуктивности мискантуса различных видов и форм в условиях средней полосы России; оценка динамики накопления хлорофилла в биомассе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были взяты растения мискантуса различных видов и гибридных форм: *M. sinensis* (мискантус китайский) – сорт Голиаф; *M. sacchariflorus* (мискантус сахароцветковый – дикий вид, собранный в районе 32° с. ш.; *M. x giganteus* (мискантус гигантский) – природный гибрид между *M. sinensis* и *M. Sacchariflorus* [9]; *M. x hybrid.* (мискантус гибридный) – гибрид, полученный в результате целенаправленной селекции скрещиванием *M. sacchariflorus* (дикого вида неизвестного происхождения) и *M. sinensis*, собранного в районе 45° с. ш.

Растения выращивали в условиях многолетнего полевого опыта, заложенного в 2012 г. в рамках проекта Европейского Союза FP7-KBBE-2011-5 «Оптимизация производства биомассы мискантуса» на полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [10]. В течение вегетационного периода отбирали пробы для определения динамики накопления биомассы (провели раздельный учет биомассы стеблей и листьев). Параллельно определяли содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов) в листовых пластинках спектрофотометрическим анализом ацетоновой вытяжки (по Хольму–Веттштейну) [11]. При промышленном извлечении хлорофилла из сырья ацетон ввиду высокой токсичности не применяется. Вместо него используют этиловый спирт. Однако данные при определении суммарного содержания хлорофиллов в ацетоновой и спиртовой вытяжке не различаются, что позволяет в научных исследованиях взаимно заменять экстрагирующие вещества. Учеты и наблюдения, представленные на графиках, проводили в первую декаду каждого месяца.

В работе приведены результаты исследования растений четвертого года жизни. К этому времени продуктивность мискантуса выходит на уровень максимальных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зависимости от целей выращивания мискантуса может различаться не только время уборки биомассы, но и хозяйственно-значимая составляющая растения. При возделывании данной культуры для целей биоэнергетики интерес представляют прочные выполненные стебли-соломины, которые убирают в воздушно-сухом состоянии в зимне-весенний период. Однако для получения хлорофилла подобная технология не подходит,

поскольку после первых осенних заморозков надземная часть растения отмирает, и, соответственно, весь содержащийся в ней хлорофилл полностью разрушается. Стебли мискантуса ввиду сильной лигнифицированности и особенностей строения почти не содержат хлорофиллов, поэтому основным источником пигментов выступают листья. Кроме того, при определении оптимальных сроков уборки мискантуса для получения хлорофилла необходимо учитывать целый ряд дополнительных факторов. Переход к цветению в конце летнего периода у отдельных видов приводит к интенсивному отмиранию листьев нижнего яруса, что негативно сказывается на суммарном содержании пигмента. Интенсивность отмирания нижних листьев усиливается и при воздействии на мискантус неблагоприятных факторов – особенно недостатка воды в почве.

Таким образом, для получения максимального количества продукции необходимо произвести уборку в оптимальные сроки с учетом структуры накопленной биомассы. На рис. 1 представлены данные по динамике структуры биомассы мискантуса исследованных генотипов.

Растения мискантуса гигантского на всех этапах формирования биомассы отличались высокой (более 60%) долей стеблей. Это делает растения данного вида идеальными кандидатами на роль биоэнергетической культуры, однако не позволяет быть эффективным источником хлорофилла. Кроме того, для растений мискантуса гигантского характерно интенсивное отмирание листовых пластинок во второй половине лета, что также делает его непригодным для получения хлорофилла. У растений мискантуса китайского и мискантуса сахароцветкового на ранних этапах роста (до середины июля) отмечено преобладание листьев в структуре биомассы, что позволяет говорить о возможности их использования для выделения пигментов. Однако наиболее целесообразным для данной цели можно считать растения мискантуса гибридного, у которого до конца августа в структуре биомассы преобладают листья, которые к тому же сохраняются на растении до заморозков и не отмирают. По показателю суммарного накопления биомассы растения мискантуса гибридного превосходят растения мискантуса сахароцветкового и китайского, уступая только мискантусу гигантскому, который занимает лидирующие позиции благодаря высокой доле тяжелых выполненных стеблей (рис. 2).

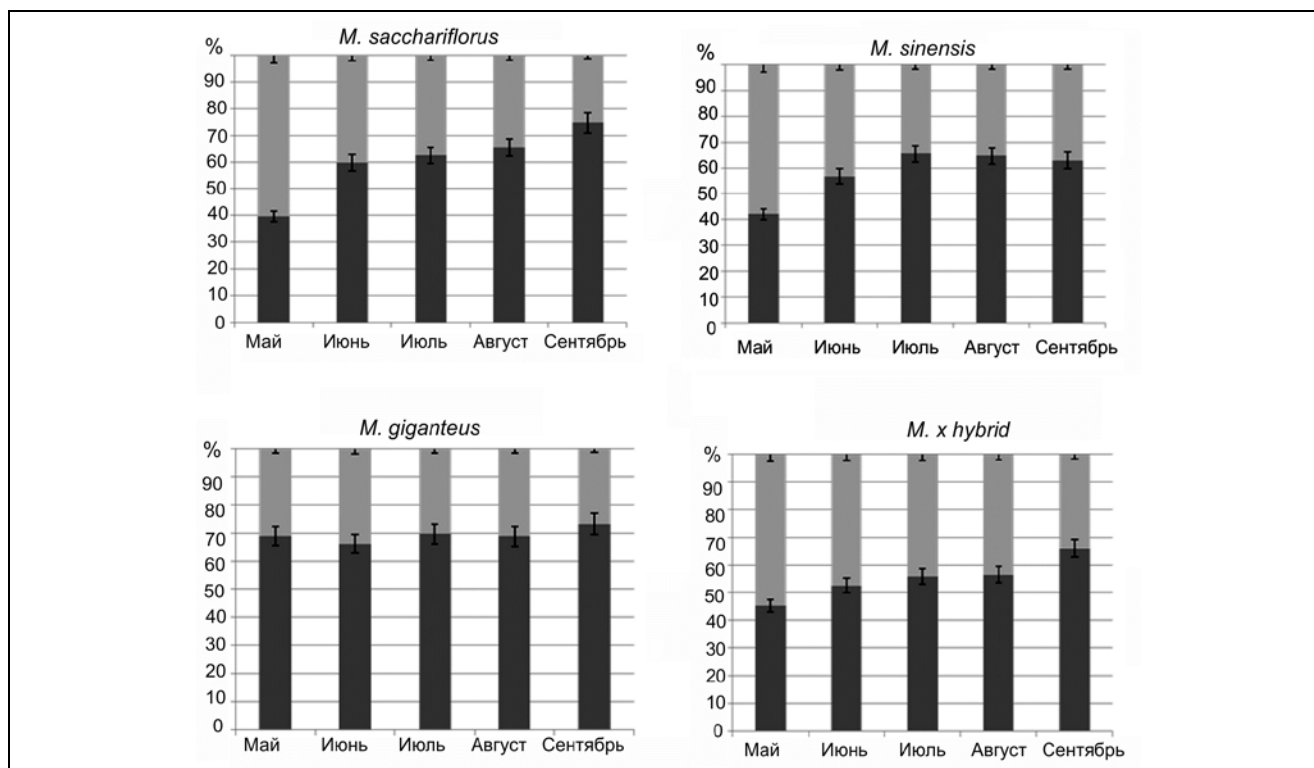


Рис. 1. Динамика структуры биомассы растений мискантуса – доля стеблей и листьев (2015 г.): светло-серый – листья; темно-серый – стебли

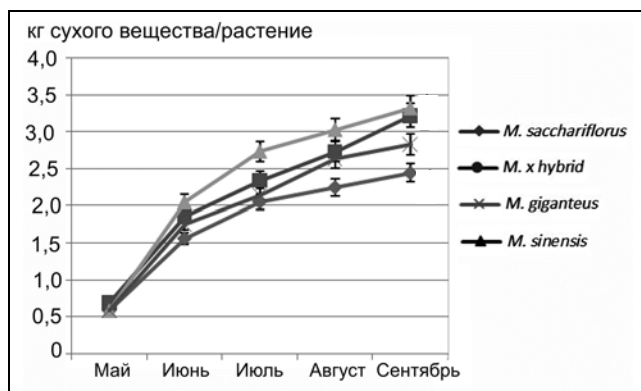


Рис. 2. Динамика накопления биомассы растениями мискантуса (2015 г.)

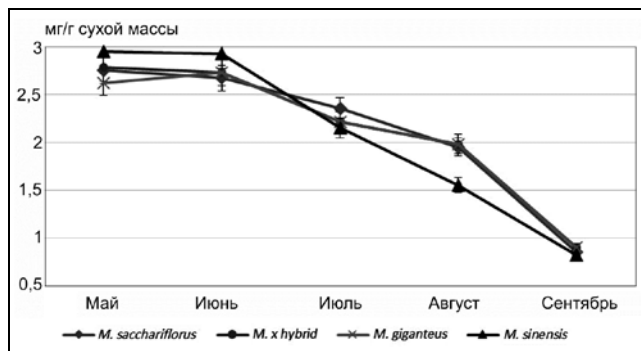


Рис. 3. Содержание хлорофиллов в листовых пластинках растений мискантуса в течение вегетации (2015 г.)

Анализ распределения пигментов в нормально развитых и неповрежденных листьях различных ярусов у исследованных генотипов мискантуса не выявил существенных различий, что позволяет в дальнейшем представить данные по динамике суммарного содержания хлорофиллов для растения мискантуса в целом (рис. 3).

Максимальное содержание хлорофиллов в растениях мискантуса отмечается на начальных этапах роста – в периоде май–июнь. В это время у растений всех исследованных генотипов ещё не наблюдаются процессы отмирания листьев нижнего яруса. Кроме того, в суммарной биомассе растений на этом этапе преобладают именно листья.

В дальнейшем по мере роста и развития растений отмечается стабильное снижение содержания хлорофиллов, которое достигает своего минимума к сентябрю, что связано с процессами вызревания биомассы.

Содержание хлорофиллов в различных генотипах мискантуса практически не различается. Это выдвигает на первый план показатели продуктивности биомассы, а также динамику её структуры при выборе оптимальных видов растений и сроков уборки для получения хлорофилла.

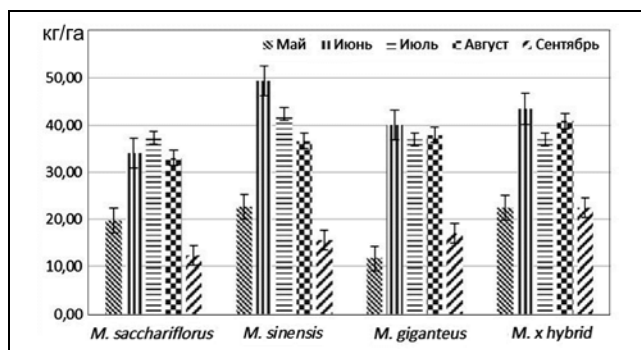


Рис. 4. Потенциальный уровень накопления хлорофилла в растениях мискантуса (2015 г.)

При схеме посадки 70×70 см на 1 га размещается 20400 растений мискантуса, потенциальная хлорофилловая продуктивность которых представлена на рис. 4.

Пиковых значений потенциально возможный сбор хлорофилла достигает у всех исследованных видов в летние месяцы – с июня по август. При этом наивысшие значения отмечены у растений мискантуса китайского в первой декаде июня. Таким образом, для выделения хлорофилла растения мискантуса можно убирать в течение всего летнего периода, однако сбор в период конец июля–август сопряжен с необходимостью отделения грубых, не содержащих пигменты стеблей, а также большого количества отмерших листьев нижнего яруса, что делает более предпочтительной уборку в первой декаде июля. Срезание надземной части растения в данные сроки позволит ему восстановиться до наступления холодов и благополучно перезимовать. Кроме того, в отдельные благоприятные годы может быть использована двукратная срезка растения в течении вегетации, однако возможность применения данного приема, широко практикуемого при выращивании мискантуса в странах западной Европы, в условиях средней полосы европейской части России нуждается в дополнительном изучении.

Выводы

1. Представители рода *Miscanthus* – *M. sinensis*, *M. sacchariflorus*, *M. giganteus*, *M. x hybrid* – являются потенциальным сырьём для получения хлорофилла.
2. Максимальный уровень накопления хлорофилла наблюдается у всех изученных видов мискантуса в начальные периоды вегетации, однако наибольший валовый выход пигментов

можно получить при накоплении растением достаточного количества биомассы, который в условиях средней полосы европейской части России отмечается в июле.

3. Растения *M. giganteus* ввиду высокой доли грубых, не содержащих пигментов стеблей и интенсивного отмирания листьев нижнего яруса не рекомендуются к использованию в качестве источника хлорофилла.
4. Наиболее подходящим видом для получения хлорофилла можно признать растения *M. x hybrid*, которые даже во второй половине лета сохраняют листовой аппарат с минимальным количеством отмирающих листьев, а также вследствие более высокой доли листьев в суммарной биомассе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кононков П.Ф., Пивоваров В.Ф., Гинс М.С., Гинс В.К. Интродукция и селекция овощных культур для создания нового поколения продуктов функционального действия. М.: РУДН. 2008. 170 с.
2. Третьяков В.Л. Фотоиммунотерапия (ФИТ) как направление фотодинамической терапии (ФДТ) // Успехи современного естествознания. 2007. № 3. С. 93–98.
3. Van der Weijde, R.T., Kiesel, A., Iqbal, Y., et al. OPTIMISC: Optimization of miscanthus biomass quality for various biobased-products // Abstracts from the International Conference «Perennial biomass crops for a resource-constrained world». 7–10 September 2015. Hohenheim University. Stuttgart, Germany. www.biomass2015.eu.
4. Коломиец Н.Э., Калинин Г.И., Сапронова Н.Н. Стандартизация листьев крапивы двудомной // Фармация. 2011. № 6. С. 22–24.
5. Lewandowski I., Scirlock J.M.O., Lindvall E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe // Biomass & Bioenergy. 2003. V. 23. P. 335–361.
6. Deuter M. Breeding approaches to improvement of yield and quality in Miscanthus grown in Europe // EMI Project, Final report. 2000. P. 28–52.
7. Фруентов Н.К. Лекарственные растения дальнего востока. Хабаровск: Хабаровское книжное издательство. 1987. 344 с.
8. Jurekova Z., Kotrla M., Paukova Z. Life cycle of Miscanthus x giganteus (Greef et Deu) grown in southwestern Slovakia conditions // Acta regionalia et environmentalica. 2013. V. 2. P. 38–41.
9. Greef J.M., Deuter M. Syntaxonomy of Miscanthus x giganteus Greef at Deu. Angewandte Botanik. 1993. № 67. P. 87–90.
10. Lewandowski I., Clifton-Brown J., Trindade L., Van der Linden G., Schwarz K., Muller-Samann K., et al. Progress on Optimizing Miscanthus Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC. 2016. Front. Plant Sci. 7:1620. doi: 10.3389/fpls.2016.01620.
11. Практикум по физиологии растений / Под ред. проф. Н.Н. Третьякова. М.: КолосС. 2003.

Поступила 12 декабря 2016 г.

MISCANTHUS (*MISCANTHUS* SPP.) AS A POSSIBLE POTENTIAL SOURCE OF CHLOROPHYLL

© Authors, 2017

A.A. Anisimov

Post-graduate Student, Department of Plant Physiology,
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
E-mail: alanis152@mail.ru

N.F. Khokhlov

Dr.Sc. (Agrical.), Professor, Department of Soil Tillage and the Research Methods,
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

I.G. Tarakanov

Dr.Sc. (Biol.), Professor, Department of Plant Physiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

The eco-physiological aspects of the production process of different species and forms of Miscanthus (*M. sinensis*, *M. sacchariflorus*, *M. giganteus*, *M. x hybrid*) in the case of biologically active substance – chlorophyll- production are studied. The principal possibility of Miscanthus usage as a source of chlorophyll is shown. For the pigment harvesting one should determine the optimal time for harvesting biomass in order to ensure the maximum level of chlorophyll content. The maximum content of pigments is observed at the beginning of vegetation. But the highest output can be obtained when enough biomass is produced. The plants of *M. x hybrid* can be considered as the most suitable species for chlorophyll production.

Key words: *miscanthus, bioeconomy, biologically active substances, chlorophyll, pigments.*

REFERENCES

1. Kononkov P.F., Pivovarov V.F., Gins M.S., Gins V.C. Introduksiya i seleksiya ovoshnykh kultur dlya sozdaniya novogo pokoleniya produktov funktsionalnogo deystviya. M.: RUDN. 2008. 170 s.
2. Tretyakov V.L. Fotoimmunoterapiya (FIT) kak napravlenye fitodinamicheskoi terapii (FDT). // Uspehi sovremenno estestvoznaniya. 2007. №3. s. 93–98.
3. Van der Weijde R.T., Kiesel A., Iqbal Y., et al. OPTIMISC: Optimization of miscanthus biomass quality for various biobased-products. Abstracts from the International Conference 'Perennial biomass crops for a resource-constrained world'. 7 – 10 September 2015. Hohenheim University, Stuttgart, Germany. www.biomass2015.eu
4. Kolomiyets N.E., Kalinkina G.I., Saponova N.N. Standardization of stinging nettle (*Urtica dioica*) leaves // Pharmacy. 2011. № 6. P. 22–24.
5. Lewandowski I., Scirlock J.M.O., Lindvall E., Christou M. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe // Biomass & Bioenergy. 2003. Vol. 23. P. 335–361.
6. Deuter M. Breeding approaches to improvement of yield and quality in Miscanthus grown in Europe. 2000. EMI Project, Final report, pp. 28–52.
7. Fruentov N.C. Lekarstvennye rastenya Dalnego Vostoka. Khabarovsk: Khabarovskoe Kniznoye Izdatelstvo. 1987. 344 s.
8. Jurekova Z., Kotrla M., Paukova Z. Life cycle of Miscanthus x giganteus (Greef et Deu) grown in southwestern Slovakia conditions // Acta regionalia et environmentalica. 2013. Vol. 2. P. 38–41.
9. Greef J.M., Deuter M., 1993. Syntaxonomy of Miscanthus x giganteus Greef at Deu. Angewandte Botanik. 67. 87–90.
10. Lewandowski I., Clifton-Brown J., Trindade L., Van der Linden G., Schwarz K., Muller-Samann K., et al. Progress on Optimizing Miscanthus Biomass Production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC. 2016. Front. Plant Sci. 7:1620. doi: 10.3389/fpls.2016.01620
11. Practicum po fiziologii rasteniy / pod red. prof. N.N. Tretyakova. M.: KolosS. 2003.



Лекарственные препараты, разработанные ВИЛАР

Хелепин (таблетки, мазь) рег. №№ 87/1186/10; 87/1186/7 – противовирусное средство при заболеваниях, вызываемых ДНК-геномными вирусами группы герпеса, получаемое из травы дикорастущего растения леспециды копеечникомой (*Lespedeza hedysaroides* (Pall.) Kitag.).

Хелепин Д (таблетки, мазь, глазные капли), рег. №№ 94/108/6; 94/108/7; 99/47/11 – противовирусное средство, получаемое из травы культивируемого растения десмодиума канадского (*Desmodium canadense* D.C.).

Тел. контакта: 8(495)388-55-09; 8(495)388-61-09; 8(495)712-10-45

Факс: 8(495)712-09-18;

e-mail: vilarnii.ru; www.vilarnii.ru