

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS*

С. Ю. Капустянчик

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р. п. Краснообск, Новосибирская обл., Россия
kapustyanchik@bionet.nsc.ru

АННОТАЦИЯ. Внесение азотных удобрений не повлияло на урожайность *Miscanthus*, хотя наблюдается тенденция к увеличению. Отмечено отсутствие существенных различий по содержанию азота в биомассе между вариантами ($НСР_{05} = 0,09$)– 0,2–0,4% в конце вегетации. Содержание калия варьировало от 3,1–3,7% в начале вегетации до 0,3% к концу вегетации по всем вариантам опыта. Варьирование Р в течение вегетации культуры было слабым – от 0,3–0,4% в июне до 0,1% в сентябре. Оптимальным вариантом с хорошей продуктивностью (11,2–14,0 т/га) и минимумом затрат на питание травостоя является вариант N30.

Ключевые слова: *Miscanthus*, продуктивность травостоя, азот, фосфор, калий, азотное удобрение.

Актуальность. Многолетние травы, такие как *Miscanthus*, могут использоваться для производства биоэнергии в больших масштабах не только в Европе, но и на территории Западной Сибири. Продуктивность биомассы этой культуры может быть значительной даже при выращивании с ограниченными затратами. Во многих зарубежных исследованиях описано, что для достижения высоких урожаев биомассы *Miscanthus*, на зрелых посадках не требуются азотные удобрения [1;2], для их внесения необходимо учитывать ремобилизацию питательных веществ внутри растения и низкое плодородие почвы. Так, Dohleman с соавторами в США (шт. Illinois 40°03'21.3"N, 88°12'3.4"W) показали, что за 7 лет вегетации урожайность *M. giganteus* (около 40 т/га) не снижалась даже без внесения удобрений [3]. Это связано с динамичным высвобождением элементов, в частности, азота из корневищ и в целом из подземной биомассы. Ряд авторов, напротив, утверждают, что для получения высокой урожайности *Miscanthus*, возникает потребность культуры в азоте, фосфоре и калии [4, 5]. Так, при отсутствии азотных удобрений урожай биомассы *Miscanthus*, будет снижаться с течением времени, поскольку при ежегодном удалении биомассы с поля, происходит удаление азота из почвы, которое должно быть компенсировано внешним источником азота.

В литературе мнения расходятся в отношении требований *Miscanthus* к элементам питания. Кроме того, отсутствует информация, которая идентифицирует компонент(ы) урожая и их вклад в выход биомассы *Miscanthus*. Таким образом, цель этого исследования состояла в том, чтобы изучить влияние азотных удобрений на продуктивность культуры.

Условия, объекты и методы исследования. Экспериментальная часть исследований выполнялась на Научно-экспериментальной базе СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН (Новосибирская область, п. Мичуринский, 54°53'16,6"N, 82°59'37,3E"). Гидротермические условия лет исследования контрастные: 2015, 2017, 2018 и 2020 гг. были умеренно переувлажненными (ГТК05–09–1,3); 2016 г. (ГТК05–09–0,9) и 2019 г. (ГТК05–09–1,1) были увлажненными.

Почва серая лесная глубокооглеенная среднесуглинистая. Мощность гумусового горизонта – 30–35 см, содержание гумуса 3,14%. Гидролитическая кислотность – 0,5–1,5 мг-экв. на 100 г почвы; содержание обменных кальция и магния – 70% от емкости катионного обмена.

Объект исследования: *Miscanthus sacchariflorus* сорт Сорановский.

Расположение делянок последовательное, площадь одной делянки 21 м², повторность 4-кратная. Внесение удобрений (аммиачная селитра (NH₄NO₃) с содержанием 34,4% азота)

осуществлялось в весенний период. Варианты опыта: 1 – без удобрений N0 (контроль), 2 – N30, 3 – N60, 4 – N90, 5 – N120.

Посадка осуществлялась корневищами. Технология подготовки почвы перед посадкой – зональная для пропашных культур. Учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам проведения опытов [6, 7, 8].

Обсуждение результатов. Проведенные зарубежные исследования выявили, что большая часть азота в растения *Miscanthus* поступает в результате почвенной минерализации и запасов азота в корневищах [9]. Там, где минерализация органического вещества достаточна, внесение азотных удобрений не влияет на урожайность в первые годы роста, но может значительно повысить урожайность в более поздние годы при уменьшении запасов азота в корневищах [9, 10]. На малоплодородных землях при выращивании *Miscanthus* предлагается весеннее внесение азотных удобрений 50–70 кг/га [11, 12].

В наших исследованиях, внесение азотных удобрений в период формирования плантации не оказало значительного влияния на развитие и формирование продуктивности культуры. Ко второму году вегетации культуры подкормка в больших дозах азота не увеличила густоту травостоя, но при этом привела к снижению длины генеративного побега. Следовательно, для формирования плантации *Miscanthus* отсутствует необходимость внесения азотных удобрений на хороших гумусированных почвах (при содержании гумуса 3% и более).

На сформированных плантациях *Miscanthus* (на третий и последующие годы вегетации) наблюдается тенденция к увеличению продуктивности надземной биомассы на 1–2 т/га при внесении азотных удобрений в дозе N30 (табл. 1); при высоких дозах (N90, N120) наблюдается повышение полегания полога, снижение

количества генеративных стеблей, повышение облиственности.

В результате четырехлетних исследований с азотными удобрениями на сформированной плантации *Miscanthus* на агросерых почвах, при различных погодных условиях мы попытались выявить основные закономерности варьирования прироста надземной биомассы при воздействии различных доз минеральных удобрений. Для этого оценивали накопление сухого вещества и измеряли концентрации NPK.

Первым этапом решили проследить концентрацию макроэлементов в надземной биомассе мискантуса. Исследования показали, что содержание N в надземной биомассе, как правило, самое высокое в июне (3,1–3,6%) – причем, концентрация азота в листьях превышала концентрацию азота в стеблях в 4–5 раз по всем вариантам; в июле значения содержания N уже составляли 1,7–1,9%. К фазе отмирания растений, концентрация N в биомассе существенно снижается, достигая значений 0,2–0,4%. Такие же результаты наблюдения получил Jorgensen U. при изучении *M. Giganteus* [13].

Снижение содержания азота в период с июня по август коррелировало с интенсивным периодом накопления сухого вещества (рис. 1). Отмечено отсутствие существенных различий по содержанию азота в биомассе между вариантами (НСР 05 = 0,09). Такая же тенденция характерна и для содержания калия – 3,1–3,7% в начале вегетации с уменьшением до 0,3% к концу вегетации по всем вариантам опыта. Что касается P, то его варьирование в течении вегетации культуры было слабым – от 0,3–0,4% в июне до 0,1% в сентябре по всем вариантам опыта. При внесении азотных удобрений в начале вегетации культуры концентрация N в основном зависит от стадии роста *Miscanthus*, а не от обеспеченности минеральными удобрениями.

Таблица 1. Продуктивность надземной биомассы *Miscanthus*, т/га

Год	Вариант удобрённости				
	N0	N30	N60	N90	N120
2017	15,9±1,2	14,0±2,3	12,1±0,5	15,4±4,1	16,1±2,9
2018	12,1±2,2	13,8±3,7	16,5±2,2	16,9±3,8	15,8±2,5
2019	9,7±3,0	11,2±2,2	12,8±3,1	12,2±4,4	13,0±1,0
2020	10,2±2,8	12,4±3,5	11,4±4,0	11,5±2,0	12,1±1,9

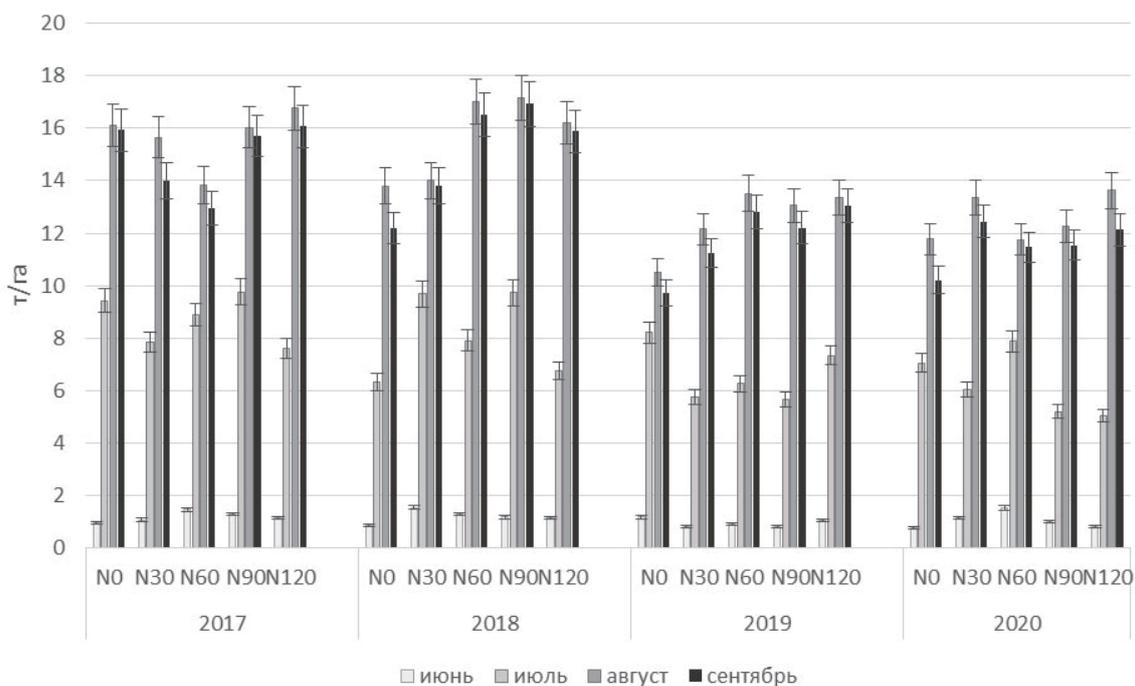


Рисунок 1. Нарастание биомассы *Miscanthus* за четыре года вегетации (2017–2020 гг.)

Таким образом, установлено, что азотное удобрение в количестве от 30 до 120 кг/га азота существенно не изменило содержание азота в надземной части растений *Miscanthus*. Снижение содержания N и K в период с июня по август коррелировало с интенсивным периодом накопления сухого вещества.

Максимальные урожаи надземной биомассы сухого вещества достигаются во второй половине вегетационного периода, к фазе цветения культуры (август) – в наших исследованиях самый высокий прирост биомассы *Miscanthus* наблюдался в фазу цветения от 16,1 т/га сухого вещества на контрольном варианте (2017 г.) до 17,1 т/га на удобренном варианте N90 (2018 г.). Далее в период с сентября по октябрь количество надземной биомассы снижалось из-за начала старения и последующего опада листьев на всех изучаемых вариантах опыта (см. рисунок 1).

2017 и 2018 гг. характеризуются повышенной продуктивностью по всем вариантам опыта. Минимальная продуктивность отмечена на контрольном варианте (12,1 т/га в 2018 г.), максимальная на варианте N90 в 2018 г. – 16,9 т/га (см. рис. 1). Существенных различий между вариантами удобрённости не отмечено в силу высокой вариации значений между повторениями. В последующие годы происходит снижение биомассы в фазу отмирания до 9,7 т/га на

контрольном варианте и 12,2–13,0 т/га на вариантах N90–N120. В 2019–2020 гг. на всех удобренных вариантах (N30–N120) прибавка была незначительной по сравнению с контролем. Снижение биомассы в 2019–2020 гг. связано с микроклиматическими условиями лет – понижением среднемесячной температуры и низкими осадками июня.

Внесение азотных удобрений не приводит к существенному увеличению продуктивности культуры. Но высокие дозы удобрений отразились на качестве получаемого сырья – отмечено повышение зольности в 1,6 раз – с 2,65% на контроле до 4,21% к варианту N120.

Таким образом, внесение минеральных удобрений (N90 и N120) существенно не повлияло на урожайность *Miscanthus*, хотя наблюдается тенденция к увеличению при внесении удобрений, но отразилось на качественном состоянии травостоя: повышение полегания полога, снижение количества генеративных стеблей, повышение облиственности, а также повышение золы в получаемом сырье. На варианте N60 продуктивность в годы исследований варьировала от 11,5 до 16,9 т/га, существенно не отличаясь от контроля. Оптимальным вариантом с хорошей продуктивностью, низкой облиственностью и минимумом затрат на питание травостоя является вариант N30.

Выводы

Сезонная динамика питательных веществ была следующей: максимальная концентрация азота и калия отмечена в начальный период роста растений, не отличаясь существенно по уровням удобрённости, с постепенным уменьшением к окончанию вегетации. Наибольшая концентрация азота отмечена в листьях и при увеличении процента облиственности на высоких дозах азотных удобрений будет приводить к увеличению данного элемента в получаемом сырье. Значение содержания фосфора оставалось стабильным на протяжении всей вегетации культуры. Рост, развитие и динамика питательных веществ зрелого *Miscanthus* варьировались в течение четырех сезонов роста: надземная биомасса увеличилась в течение вегетационного периода 2017 г. и 2018 г., имея по всем уровням удобрённости высокие значе-

ния и достигая максимальной урожайности в 2017 г. 15,9 и 16,1 т/га при удобрённости N0 и N120, соответственно и в 2018 г. 16,5 и 16,9 т/га при удобрённости N90 и N120, соответственно. В последующие годы (2019, 2020 гг.) происходит снижение продуктивности, вызванное климатическими факторами, до 9,7–12,8 т/га также с тенденцией к увеличению на удобрённых фонах. С повышением урожайности на удобрённых фонах отмечено снижение числа генеративных побегов и повышение облиственности и полегания травостоя, а также увеличение зольных элементов в получаемом сырье.

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

MINERAL NUTRITION AND POTENTIAL PRODUCTIVITY OF MISCANTHUS SACCHARIFLORUS

S. Yu. Kapustyanchik

*Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding, Institute of Cytology and Genetics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk oblast, Russia
kapustyanchik@bionet.nsc.ru*

ABSTRACT. The application of mineral fertilizers did not significantly affect the yield of *Miscanthus*. There is a trend towards increasing yields. The absence of significant differences in the nitrogen content in biomass between the options (NSR05 = 0.09) – 0.2–0.4% at the end of the growing season was noted. The K content varied from 3.1–3.7% at the beginning of the growing season to 0.3% by the end of the growing season for all experimental variants. The variation in P during the growing season of the crop was weak – from 0.3–0.4% in June to 0.1% in September. The optimal option with good productivity (11.2–14.0 t/ha) and minimum costs for feeding the grass stand is option N30.

Keywords: *Miscanthus*, grass productivity, nitrogen, phosphorus, potassium, nitrogen fertilize

Литература

- 1 Himken M., Lammel J., Neukirchen D. et al. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization/ M. Himken, J. Lammel, D. Neukirchen, U. et al. // *Plant Soil*. – 1997. – № 189. – P. 117–126.
- 2 Christian D. G., Yates N. E., Riche A. B. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests / D. G. Christian, A. B. Riche, N. E. Yates // *Industrial Crops and Products*. – 2008. – № 28 (3). P. 320–327.
- 3 Dohleman F. G., Heaton E. A., Arundale R. A., Long S. P. Seasonal dynamics of above- and below-ground biomass and nitrogen partitioning in *Miscanthus* × *giganteus* and *Panicum virgatum* across three growing seasons. / F. G. Dohleman, E. A. Heaton, R. A. Arundale, S. P. Long // *Global Change Biology Bioenergy*. – 2012. – № 4(5). – P. 534–544.

- 4 Heaton E., Voigt T., Long S. P. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water E. Heaton, T. Voigt, S. P. Long // *Biomass and Bioenergy*. – 2004. № 27. – P. 21–30.
- 5 Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A. and Bonari, E. (1999) Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilization on Biomass Yield and Efficiency of Energy Use in Crop Production of *Miscanthus*. *Field Crops Research*, 63, 3–11. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00022-2)
- 6 Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- 7 Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения // М.: Росинформагротех, 2003. – 240 с.
- 8 Мязин Н. Г. Система удобрения: учебное пособие / Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2009. – 350 с.
- 9 Christian D. G., Poulton P. R., Riche A. B. et al. The recovery over several seasons of 15 N-labelled fertilizer applied to *Miscanthus giganteus* ranging from 1 to 3 years old / D. G. Christian, P. R. Poulton, A. B. Riche et al. // *Biomass Bioenergy*. – 2006. – № 30. – С. 125–133.
- 10 Clifton-Brown J. C., Breuer J., Jones M. B. Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus* / J. C. Clifton-Brown, J. Breuer, M. B. Jones // *Global Change Biology Bioenergy*. – 2007. – № 13. – P. 2296–2307.
- 11 Lewandowski I., Clifton-Brown J. C. European *Miscanthus*: Improvement Project (EMI), FAIR3 CT-96–1392: Final Report, 2000. – 260 p.
- 12 Lammel J., Neukirchen D., Czypionka-Krause U., Olf H. W. Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization / J. Lammel, D. Neukirchen, U. Czypionka-Krause, H. W. Olf // *Plant Soil*. – 1997. – № 189. – P. 117–126.
- 13 Jorgensen U., Genotypic variation in dry matter accumulation and content of N, K and Cl in *Miscanthus* in Denmark // *Biomass Bioenergy*. – 1997. – № 12. – P. 155–169.