

Оригинальная статья / Original article

УДК 631.871 : 581.142: 661.52

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-413-420>



Раствор азотной кислоты после обработки мискантуса как регулятор роста гороха посевного (*Pisum sativum* L.) *in vitro*

© Е.А. Скиба*, М.А. Скиба**, О.И. Пятунина**

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН,
г. Бийск, Российская Федерация

**Краевое государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Бийский лицей-интернат Алтайского края», г. Бийск, Российская Федерация

Резюме: Мискантус во всем мире позиционируется как чрезвычайно перспективное быстро возобновляемое целлюлозосодержащее сырье для производства большого числа веществ химического и биотехнологического синтеза. В Институте проблем химико-энергетических технологий СО РАН разрабатываются авторские способы обработки мискантуса разбавленными растворами азотной кислоты, при этом количество отработанного раствора (жидкой фазы) в 20 раз больше, чем целевого продукта – твердой фазы, предназначенной для ферментативного гидролиза и дальнейшего микробиологического синтеза биоэтанола, бактериальной целлюлозы и других ценных продуктов. Была выдвинута гипотеза, что раствор азотной кислоты после обработки мискантуса, нейтрализованный гидратом аммония (далее препарат), представляет собой комбинированное лигногуминовое удобрение. Для проверки этой гипотезы исследована рострегулирующая активность препарата на примере семян гороха посевного. Установлено, что в зависимости от степени разведения и времени выдержки препарат действует двояственно: то как стимулятор, то как ингибитор роста. Так, при степени разведения 1:10 препарат действует как ингибитор, а при степени разведения 1:1 000 000 действие препарата перестает проявляться. Рабочим диапазоном является степень разведения от 1:100 до 1:10 000, когда наблюдается повышение энергии прорастания и всхожести на 2–6% по сравнению с контролем и стимулируется рост корней на 21–29%, то есть, проявляется ауксиноподобное ростстимулирующее действие. При длительной выдержке в течение 4-х суток препарат показывает ростингибирующее действие: снижаются энергия прорастания, всхожесть, длина стеблей и корней гороха посевного. Поскольку новый препарат в определенных условиях показал ростстимулирующую активность, можно считать подтвержденным, что он является комбинированным лигногуминовым удобрением.

Ключевые слова: мискантус, азотная кислота, горох посевной, рострегулирование

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания 121061500030-3.

Для цитирования: Скиба Е.А., Скиба М.А., Пятунина О.И. Раствор азотной кислоты после обработки мискантуса как регулятор роста гороха посевного (*Pisum sativum* L.) *in vitro*. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 3. С. 413–420. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-413-420>

Nitric acid solution after treating miscanthus as a growth regulator of seed peas (*Pisum sativum* L.) *in vitro*

Ekaterina A. Skiba*, Maria A. Skiba**, Olga I. Pyatunina**

*Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies SB RAS,
Biysk, Russian Federation

**Biysk Lyceum School of Altai Region, Biysk, Russian Federation

Abstract: All over the world, miscanthus is positioned as an extremely promising and rapidly renewable cellulose-containing raw material for the production of a large number of substances of chemical and biotechnological synthesis. The Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences has been developing its own methods of treating miscanthus using diluted solutions of nitric acid. While the amount of a waste solution (liquid phase) is 20 times greater than the target product — a solid phase -- intended for enzymatic hydrolysis and further microbiological synthesis of

bioethanol, bacterial cellulose and other valuable products. The hypothesis states that a nitric acid solution after treatment with miscanthus, which was neutralized with ammonium hydrate (hereinafter referred to as the preparation), is a combined lignohumic fertilizer. Testing this hypothesis has required studying the growth-regulating activity of the preparation using the example of sowing pea seeds. The results show that, depending on the degree of dilution and the exposure time, the preparation acts in two ways: either as a stimulant or as a growth inhibitor. Thus, at a dilution rate of 1:10, the preparation acts as an inhibitor, and at a dilution rate of 1:1,000,000, its effect ceases. The working range includes the dilution rate between 1:100 and 1:10,000, when an increase in germination energy and rate is observed by 2–6% compared to the control and root growth is stimulated by 21–29%, i.e. an auxin-like growth-stimulating effect is observed. With prolonged endurance during the 4th day, the preparation showed a growth-inhibiting effect, indicated by the decrease in the germination energy and rate, the length of the stems and roots of the sowing pea. The new preparation showing growth-stimulating activity under certain conditions, supposedly confirms the hypothesis that it is a combined lignohumic fertilizer.

Keywords: miscanthus, nitric acid, seed peas, growth regulation

Acknowledgments: This work was performed under Governmental contract no. 121061500030-3.

For citation: Skiba EA, Skiba MA, Pyatunina OI. Nitric acid solution after treating miscanthus as a growth regulator of seed peas (*Pisum sativum* L.) *in vitro*. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(3):413–420. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-413-420>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мировом сообществе активно развивается концепция экономики замкнутого цикла, основные принципы которой заключаются в возобновлении ресурсов, переработке вторичного сырья, переходе от ископаемого топлива к использованию возобновляемых источников энергии [1, 2].

Чрезвычайно перспективным сырьём является мискантус – быстрорастущая («энергетическая») многолетняя злаковая техническая культура. Его биологической особенностью является высокая скорость роста надземной биомассы. От других трав (как однолетних, так и многолетних) его отличает высокое содержание целлюлозы. В связи с этим мискантус позиционируется как глобальное значимое целлюлозосодержащее сырьё, призванное частично заменить такой невозобновляемый ресурс, как нефть в производстве широкого спектра веществ химического и биотехнологического синтеза [3–5].

В 2013 г. в Институте цитологии и генетики (ИЦиГ) СО РАН (г. Новосибирск) был зарегистрирован сорт мискантуса Сорановский. В течение 15 лет возделывания его урожайность составляет 12 т/га [6, 7]. Этот вид мискантуса обладает высоким потенциалом для выращивания в условиях Западной Сибири [8]. В 2019–2020 гг. заложены промышленные плантации мискантуса сорта Камис в 7 регионах Российской Федерации¹. В Институте проблем химико-энергетических технологий (ИПХЭТ) СО РАН разработка технологий переработки мискантуса ведется с 2008 г., и к настоящему времени из него получены целлюлоза и ее эфиры, в том числе нитраты, бумага, глюкоза, биоэтанол, бактериальная целлюлоза, молочная кислота [9–14]. Для перера-

ботки мискантуса предложены авторские способы извлечения целлюлозы и предварительной химической обработки с целью последующей биотехнологической трансформации. Эти способы основаны на использовании разбавленных растворов азотной кислоты. Целевым продуктом является твердая фаза, которая используется в дальнейшем для ферментативного гидролиза или извлечения целлюлозы, а побочным – жидкая фаза, которой образуется в 20 раз больше, чем целевой.

Под действием азотной кислоты происходят реакции нитрования и конденсации лигнина, а также из полисахаридов (целлюлозы и гемицеллюлоз) образуются муравьиная, левулиновая, уксусная и другие органические кислоты [9, 10]. То есть, под действием азотной кислоты происходит гумификация органических веществ (целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина) мискантуса. Гуминовые вещества, растворимые в кислотах, относят к фракции фульвокислот [15]. Можно предположить, что отработанный раствор азотной кислоты, нейтрализованный гидроксидом аммония, представляет собой комбинированное лигногуминовое удобрение: включает органическую составляющую: фульвокислоты, органические кислоты, нитрованный лигнин и минеральную составляющую: нитрат аммония. Однако эта гипотеза требует доказательств.

Рострегулирующие свойства гуминовых веществ широко обсуждаются в литературе, но при этом сведений об использовании фракции фульвокислот очень мало, что связано с тем, что обычно используются фракции, извлекаемые с помощью щелочи, например, из торфа или бурого угля, или из других источников гуминовых веществ [15–18]. Но в единичных работах, напри-

¹Целлюлоза – не только лес [Электронный ресурс]. URL: <http://www.proektnoegosudarstvo.ru/pse-ssion/1438/> (10.10.2020).

мер в кандидатской диссертации Е.Ю. Егоровой², показана эффективность извлечения гуминовых кислот из торфа с помощью 2,5%-го раствора азотной кислоты, при этом извлеченные фракции показали хорошие результаты как на стадии предпосевной обработки, так и на стадии возделывания моркови, картофеля и томатов.

Целью данной работы являлось исследование рострегулирующей активности раствора, полученного после обработки мискантуса разбавленным раствором азотной кислоты, на примере семян гороха посевного. Бобовые растения ассоциированы с азотфиксирующими бактериями и мало нуждаются в азоте. Если обработка гороха отработанным раствором положительно скажется на энергии прорастания и всхожести гороха, то можно предположить, что более требовательные культуры еще лучше отреагируют на такую предпосевную обработку.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В данной работе был использован мискантус сахароцветковый (или сахароцветный) – *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack (авторская форма веерник *Andersson*), выращенный в условиях резко континентального климата Западной Сибири (г. Бийск), где средняя температура зимой составляет -15,1 °С, летом – 17,7 °С, среднегодовая норма осадков – 459 мм. Посадочный материал был предоставлен ИЦиГ СО РАН. Возраст плантации – 7 лет. Мискантус состоял из, м.д., % в пересчете на АСВ: целлюлозы по Кюршнеру – 52,0±0,3, пентозанов – 20,3±0,2, кислотонерастворимого лигнина – 21,7±0,1, и золы – 5,9±0,1.

Мискантус был измельчен с помощью соломорезки Gardena (Германия) до размера частиц не более 10 мм и обработан 4%-м раствором азотной кислоты на опытно-промышленном производстве ИПХЭТ СО РАН в стандартном емкостном оборудовании объемом 250 л при атмосферном давлении, температуре 92–96 °С, гидромодуле 1:20. Далее раствор был отделен от твердой фракции и нейтрализован с помощью гидроксида аммония.

Отработанный и нейтрализованный раствор 4%-й азотной кислоты (далее препарат) имел следующий химический состав: сухих веществ – 4,54%, в том числе: солей аммония – 1,13%, восстанавливающих сахаров – 1,13% (в том числе глюкозы – 0,17%).

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) был предоставлен ООО «Курай Агро Плюс» (Алтайский край, Бийский р-н, пос. Боровой). По посевным качествам семена гороха соответствовали 2-му классу согласно ГОСТ 10246-86. В работе

намеренно использованы семена 2-го класса, чтобы разница между контрольными и опытными результатами была более заметна.

Исследования энергии прорастания и всхожести проведены в соответствии с требованиями ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести». Модификация состояла в проращивании на вискозе рулонным методом. Проращивание семян осуществляли в термостате ТСО-1/80 СПУ при температуре 20 °С. Опыты проведены в 4-х повторностях и обработаны статистически. Допускаемое отклонение результатов анализа отдельных проб от среднего составила не более ±6%.

Рострегулирующая активность препарата исследована при степенях разведения препарата 1:10, 1:100, 1:1000, 1:10 000, 1:100 000. В качестве контроля использована водопроводная вода. Продолжительность выдержки семян гороха в препарате составила 2 ч и 4 суток.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Определение степени разведения препарата для его использования в качестве рострегулятора. Продолжительность выдержки в препарате составила 2 ч. Энергия прорастания и всхожесть при разведениях препарата от 1:10 до 1:100 000 представлены на рис. 1. Степень разведения препарата 1:10 являлась недостаточной, так как при ее использовании энергия прорастания уменьшается на 35%, а всхожесть – на 17% по сравнению с контролем. При степенях разведения от 1:100 до 1:10 000 наблюдалось повышение энергии прорастания и всхожести на 2–6% по сравнению с контролем. Дальнейшее увеличение степени разведения до 1:100 000 привело к результатам, аналогичным контролю, то есть это разведение было избыточным.

Эти выводы подтвердились при измерении морфометрических показателей (рис. 2). Энергия прорастания определялась на 4-е сутки. В этот момент, при степенях разведения от 1:100 до 1:10 000, длина стеблей была выше контроля на 12–28%, а длина корней – на 21–29%. Степень разведения 1:10 являлась недостаточной: длина стеблей меньше на 25%, корней – на 16% по сравнению с контролем, то есть при этой степени разведения препарат действовал как ингибитор роста семян гороха. Степень разведения 1:100 000 являлась избыточной: длина стеблей и корней примерно были равны контрольным, то есть при этой степени разведения препарат переставал действовать в силу избыточного разбавления.

Всхожесть семян гороха определялась на 8-е сутки. При степени разведения 1:10 отставание

²Егорова Е.Ю. Эффективность препаратов на основе гуминовых кислот торфа под сельскохозяйственные культуры в условиях луговой степи Алтайского края: дисс. ... канд. с-х. наук: 06.01.04. Барнаул, 2000. 148 с.

длины стеблей от контрольной сокращалось до 24%, корней – до 9% по сравнению с контролем, то есть частично снималось ингибирующее воздействие. При степенях разведения от 1:100 до 1:10 000 длина стеблей в контрольном и опытных вариантах уравнивалась, а длина корней была выше, чем в контроле, на 14–20%. Овидно, что исследуемый препарат обладает гормоноподобным действием и проявляет себя как ауксин. При степени разведения 1: 100 000 длины стеблей и корней оставались примерно равными контрольным.

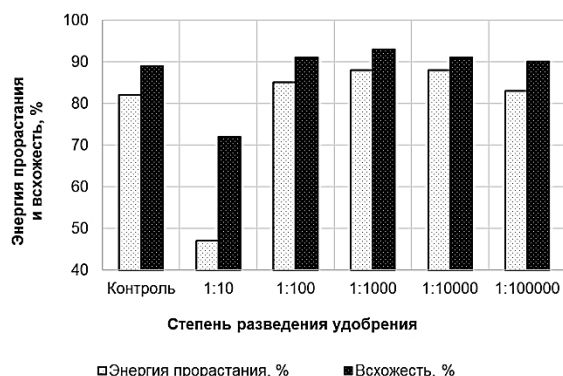


Рис. 1. Энергия прорастания и всхожесть гороха посевного при разведениях препарата от 1:10 до 1:100 000

Fig. 1. Germination energy and capacity of garden pea at preparation dilutions from 1:10 to 1:100 000

Явление, когда в зависимости от концентрации вещество может быть стимулятором или ингибитором роста растения, описано в литературе² [15, 19]. Поскольку новый препарат показал ростстимулирующую активность, можно считать подтвержденным, что он является комбинированным лигногуминовым удобрением. Ростстимулирующая активность проявлялась при степенях разведения от 1:100 до 1:10 000, именно этот диапазон следует считать рабочим.

В работе [20] при проращивании семян гороха в воде приводятся следующие данные: энергия прорастания – 45%, при этом длина стебля –

0,7 см, длина корня – 3,3 см. В контрольном опыте в нашей работе энергия прорастания составила 82%, при этом длина стебля – 2,4 см, длина корня – 5,0 см. Расхождения могут быть обусловлены использованием разных сортов гороха.

Исследование рострегулирующей активности препарата при длительной выдержке. Потребители не всегда читают инструкции к препаратам. Они полагают, что для более эффективной ростстимуляции семена нужно дольше выдерживать в растворе рострегулятора. Нами в данном опыте выдержка в исследуемом препарате составила 4 суток вместо 2–4 ч, степень разведения препарата выполнена в рабочем диапазоне от 1:100 до 1:10 000. Однако во всех вариантах длительная выдержка привела к значительному снижению энергии прорастания и всхожести, причем снижение было тем значительнее, чем меньше степень разведения препарата (рис. 3). Так, для варианта разбавления 1:100 энергия прорастания снизилась на 10%, всхожесть – на 9% по сравнению с контролем. То есть при длительной выдержке препарат действует как ингибитор.

Эти же выводы можно сделать, анализируя морфометрические показатели гороха посевного, полученные при его длительной выдержке в препарате (рис. 4). В течение первых 4-х суток семена гороха находились в неблагоприятных условиях, в результате для варианта разбавления 1:100 длина стеблей была меньше на 50%, корней – на 25% по сравнению с контролем. Далее препарат был заменен на воду и через 8 суток показатели роста улучшились. Так, длина стеблей стала меньше, чем в контроле, на 26–9%, а длина корней – на 22–11%. Для больших разбавлений (1:1000 и 1:10 000) длина стеблей меньше, чем в контроле, на 17 и 9% соответственно, а длина корней – на 17 и 11% соответственно. То есть за 4 суток растениям не удалось в достаточной мере восстановиться от угнетения.

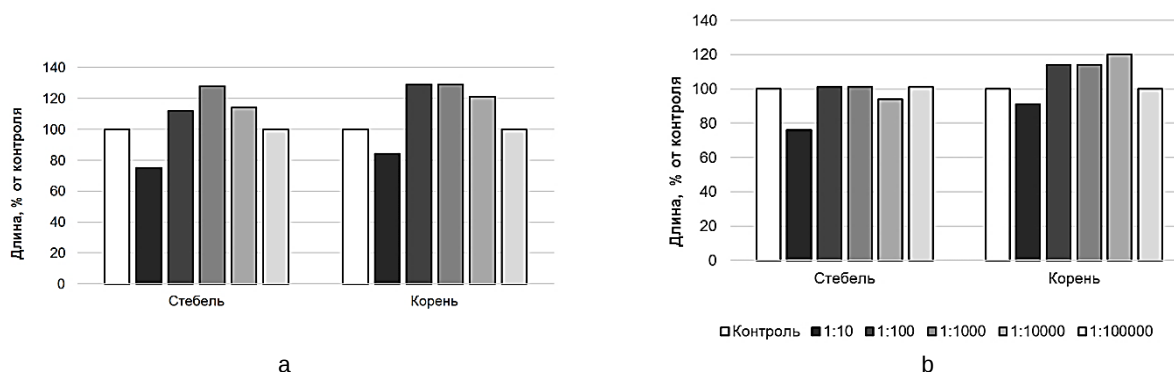


Рис. 2. Морфометрические показатели гороха посевного при различных степенях разведения препарата: а – при определении энергии прорастания; б – при определении всхожести

Fig. 2. Morphological characteristics of garden pea at different dilutions of the preparation: а – measured germination energy; б – measured germination capacity

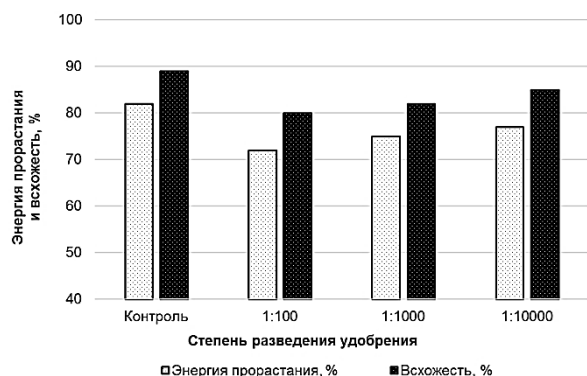


Рис. 3. Энергия прорастания и всхожесть гороха посевного при длительной выдержке в препарате

Fig. 3. Germination energy and capacity of garden pea when held in the preparation for a prolonged time

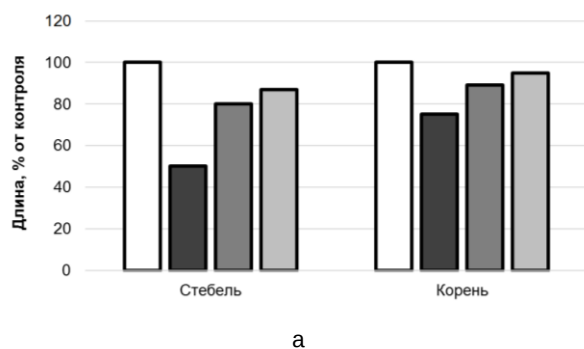


Рис. 4. Морфометрические показатели гороха посевного при длительной выдержке в препарате: а – при определении энергии прорастания; б – при определении всхожести

Fig. 4. Morphological characteristics of garden pea when held in the preparation for a prolonged time: а – measured germination energy; б – measured germination capacity

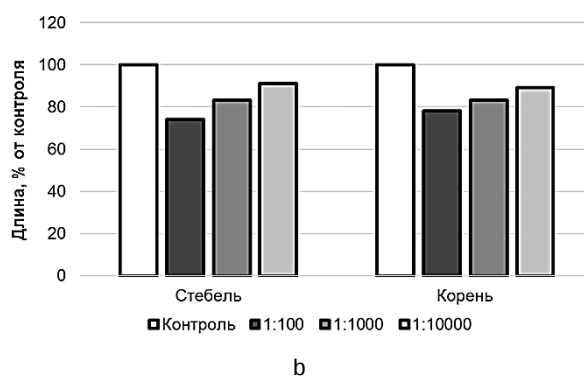
ВЫВОДЫ

В зависимости от степени разведения и времени выдержки раствор азотной кислоты после обработки мискантуса (препарат) действует двойственно: то как стимулятор, то как ингибитор роста.

Степень разведения препарата 1:10 является недостаточной, при ней препарат действует как ингибитор, а степень разведения 1:1000 000 – избыточной, действие препарата не проявляется.

Рабочим диапазоном разведения препарата является соотношение от 1:100 до 1:10 000, тогда в нем наблюдается повышение энергии про-

растания и всхожести на 2–6% по сравнению с контролем и стимулируется рост корней на 21–29%, то есть, проявляется ауксиноподобное ростстимулирующее действие препарата. При длительной выдержке в течение 4-х суток препарат показывает устойчивое ростингибирующее действие: снижаются энергия прорастания, всхожесть, длина стеблей и корней гороха посевного. Поскольку новый препарат в определенных условиях показал ростстимулирующую активность, можно считать подтвержденным, что он является комбинированным лигногуминовым удобрением.



растания и всхожести на 2–6% по сравнению с контролем и стимулируется рост корней на 21–29%, то есть, проявляется ауксиноподобное ростстимулирующее действие препарата.

При длительной выдержке в течение 4-х суток препарат показывает устойчивое ростингибирующее действие: снижаются энергия прорастания, всхожесть, длина стеблей и корней гороха посевного.

Поскольку новый препарат в определенных условиях показал ростстимулирующую активность, можно считать подтвержденным, что он является комбинированным лигногуминовым удобрением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N.M.P., Hultink E.J. The circular economy – a new sustainability paradigm? // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 43. P. 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
2. Negro C., Garcia-Ochoa F., Tanguy P., Ferreira G., Thibault J., Yamamoto S., et al. 2018. Barcelona declaration – 10th world congress of chemi-

cal engineering, 1–5 October 2017. // Chemical Engineering Research and Design. 2018. Vol. 129. P. A1–A2. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.12.035>

3. Kang K.E., Jeong J.-S., Kim Y., Min J., Moon S.-K. Development and economic analysis of bioethanol production facilities using lignocellulosic biomass // Journal of Bioscience and Bioengineering. 2019. Vol. 128. Issue 4. P. 475–479. <https://doi.org/>

10.1016/j.jbiosc.2019.04.004

4. Dubis B., Bułkowska K., Lewandowska M., Szempliński W., Jankowski K.J., Idżkowski J., et al. Effect of different nitrogen fertilizer treatments on the conversion of *Miscanthus giganteus* to ethanol // *Bioresource Technology*. 2017. Vol. 243. P. 731–737. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.005>

5. Zhang Y., Oates L.G., Serate J., Xie D., Pohlmann E., Bukhman Y.V., et al. Diverse lignocellulosic feedstocks can achieve high field-scale ethanol yields while providing flexibility for the biorefinery and landscape-level environmental benefits // *GCB Bioenergy*. 2018. 16 p. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12533>

6. Капустянич С.Ю., Бурмакина Н.В., Якименко В.Н. Оценка эколого-агрохимического состояния агроценоза с многолетним выращиванием мискантуса в Западной Сибири // *Агрохимия*. 2020. N. 9. С. 65–73. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090082>

7. Капустянич С.Ю., Поцелуев О.М., Галицын Г.Ю., Лихенко И.Е., Будаева В.В., Гисматулина Ю.А. [и др.]. Эколого-биологическая оценка перспективной технической культуры *Miscanthus sacchariflorus* // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. N 1. С. 42–46. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10108>

8. Dorogina O.V., Vasilyeva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L.V., Gismatulina Yu.A., Zhmud E.V., et al. Resource potential of some species of the genus *Miscanthus* Anderss. under conditions of continental climate of West Siberian foreststeppe // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. N 5. С. 553–559. <https://doi.org/10.18699/VJ18.394>

9. Budaeva V.V., Makarova E.I., Gismatulina Yu.A. Integrated Flowsheet for Conversion of Non-woody Biomass into Polyfunctional Materials // *Key Engineering Materials*. 2016. Vol. 670. P. 202–206. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.670.202>

10. Skiba E.A., Budaeva V.V., Baibakova O.V., Zolotukhin V.N., Sakovich G.V. Dilute nitric-acid pretreatment of oat hulls for ethanol production // *Biochemical Engineering Journal*. 2017. Vol. 126. P. 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.09.003>

11. Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V. Chemical composition of five *Miscanthus sinensis* harvests and nitric-acid cellulose therefrom // *Industrial Crops and Products*. 2017. Vol. 109. P. 227–232. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.026>

12. Корчагина А.А., Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Золотухин В.Н., Бычин Н.В., Сакович Г.В. Мискантус гигантский сорта «Камис» – новое сырье для нитратов целлюлозы // *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*. 2020. Т. 13. N 4. С. 565–577. <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0206>

13. Skiba E.A., Gladysheva E.K., Golubev D.S., Budaeva V.V., Aleshina L.A., Sakovich G.V. Self-standardization of quality of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* in nutrient media derived from *Miscanthus* biomass // *Carbohydrate Polymers*. 2021. Vol. 252. P. 117178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117178>

14. Gismatulina Y.A., Budaeva V.V., Sakovich G.V. Nitrocellulose synthesis from *Miscanthus* cellulose // *Propellants Explosives Pyrotechnics*. 2018. Vol. 43. Issue 1. P. 96–100. <https://doi.org/10.1002/prep.201700210>

15. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / под ред. Е.И. Ермакова. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. 248 с.

16. Духанина И.Я., Верещагин А.Л., Егорова Е.Ю., Степанова Н.В. Влияние состава экстрактов торфа и биогумуса на их физиологическую активность // *Химия растительного сырья*. 1998. N. 4. С. 47–51.

17. Суханова И.М., Алиев Ш.А., Газизов Р.Р., Ильясов М.М., Рахманова Г.Ф., Сидоров В.В. Влияние обработки семян органоминеральными суспензиями и их наноаналогами на морфометрические параметры проростков // *Эффективное растениеводство*. 2017. N. 8. С. 70–72.

18. Белоухов С.Л., Гришина Е.А. Исследование химического состава и ростстимулирующего действия экстрактов из гумифицированной льняной костры // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2012. N. 1 (2). С. 97–103.

19. Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белоухов С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях // *Агрохимия*. 2008. N. 7. С. 86–96.

20. Павлова А.А., Верещагин А.Л., Чащилов Д.В. Влияние препаратов из частей растений вьюнка полевого (*Convolvulus arvensis* L.) и сроков сбора на морфометрические показатели прорастающих семян гороха (*Pisum sativum* L.) // *Вестник алтайской науки*. 2014. N. 4. С. 162–165.

REFERENCES

1. Geissdoerfer M, Savaget P, Bocken NMP, Hultink EJ. The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 2017;43:757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

2. Negro C, Garcia-Ochoa F, Tanguy P, Ferreira G, Thibault J, Yamamoto S., et al. 2018. Barcelona declaration – 10th world congress of chemical engineering, 1–5 October 2017. *Chemical Engineering*

Research and Design. 2018;129:A1–A2. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.12.035>

3. Kang KE, Jeong J-S, Kim Y, Min J, Moon S-K. Development and economic analysis of bioethanol production facilities using lignocellulosic biomass. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2019;128(4):475–479. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2019.04.004>

4. Dubis B, Bułkowska K, Lewandowska M,

Szempliński W, Jankowski KJ, Idźkowski J, et al. Effect of different nitrogen fertilizer treatments on the conversion of *Miscanthus giganteus* to ethanol. *Bioresource Technology*. 2017;243:731–737. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.005>

5. Zhang Y, Oates LG, Serate J, Xie D, Pohlmann E, Bukhman YV, et al. Diverse lignocellulosic feedstocks can achieve high field-scale ethanol yields while providing flexibility for the biorefinery and landscape-level environmental benefits. *GCB Bioenergy*. 2018. 16 p. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12533>

6. Kapustyanchik SYu, Burmakina NV, Yakimenko VN. Assessment of the ecological and agrochemical state of the agrocenosis with long-term cultivation of miscanthus in Western Siberia. *Agrokimiya*. 2020;9:65–73. (In Russian) <https://doi.org/10.31857/S0002188120090082>

7. Kapustyanchik SYu, Potseluev OM, Galitsyn GYu, Likhenko IE, Budaeva VV, Gismatulina YuA, et al. Ecological and biological assessment of the promising technical crop *Miscanthus sacchariflorus*. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020;34(1):42–46. (In Russian) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10108>

8. Dorogina OV, Vasilyeva OYu, Nuzhdina NS, Buglova LV, Gismatulina YuA, Zhmud EV, et al. Resource potential of some species of the genus *Miscanthus* Anderss. under conditions of continental climate of West Siberian foreststeppe. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(5):553–559. <https://doi.org/10.18699/VJ18.394>

9. Budaeva VV, Makarova EI, Gismatulina YuA. Integrated Flowsheet for Conversion of Non-woody Biomass into Polyfunctional Materials. *Key Engineering Materials*. 2016;670:202–206. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.670.202>

10. Skiba EA, Budaeva VV, Baibakova OV, Zolotukhin VN, Sakovich GV. Dilute nitric-acid pretreatment of oat hulls for ethanol production. *Biochemical Engineering Journal*. 2017;126:118–125. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.09.003>

11. Gismatulina YuA, Budaeva VV. Chemical composition of five *Miscanthus sinensis* harvests and nitric-acid cellulose therefrom. *Industrial Crops and Products*. 2017;109:227–232. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.026>

12. Korchagina AA, Gismatulina YuA, Budaeva VV, Zolotukhin VN, Bychin NV, Sakovich GV. *Miscanthus* × *giganteus* var. KAMIS as a new feedstock for cellulose nitrates. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2020;13(4):565–577. (In Russian) <https://doi.org/10.17516/1998-2836-0206>

13. Skiba EA, Gladysheva EK, Golubev DS, Budaeva VV, Aleshina LA, Sakovich GV. Self-standardization of quality of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* in nutrient media derived from *Miscanthus* biomass. *Carbohydrate Polymers*. 2021;252:117178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117178>

14. Gismatulina YA, Budaeva VV, Sakovich GV. Nitrocellulose Synthesis from *Miscanthus* Cellulose. *Propellants Explosives Pyrotechnics*. 2018;43(1):96–100. <https://doi.org/10.1002/prep.201700210>

15. Popov A.I. *Humic substances: properties, structure, formation*. St. Petersburg: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta; 2004. 248 p. (In Russian)

16. Dukhanina IYa, Vereshchagin AL, Egorova EYu, Stepanova NV. Vliyanie sostava ekstraktov torfa i biogumusa na ikh fiziologicheskuyu aktivnost'. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 1998;4:47–51. (In Russian)

17. Sukhanova IM, Aliev ShA, Gazizov RR, Il'yasov MM, Rakhmanova GF, Sidorov VV. Influence of seed treatment with organomineral suspensions and their nano-analogs on the morphometric parameters of seedlings. *Effektivnoe rasteniyevodstvo*. 2017;8:70–72. (In Russian)

18. Belopukhov SL, Grishina EA. Chemical composition and growth stimulant effect of extracts from humified linen fires. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2012;1:97–103. (In Russian)

19. Prusakova LD, Kefeli VI, Belopuhov SL, Vakulenko VV, Kuznetsova SA. The role of phenolic compounds in plants. *Agrokimiya*. 2008;7:86–96. (In Russian)

20. Pavlova AA, Vereshchagin AL, Chaschilov DV. The influence of the preparations from the field bindweed (*Convolvulus arvensis* L.) parts and of its collection periods on the morphometric parameters of germinating pea seeds (*Pisum sativum* L.). *Vestnik altaiskoy nauki*. 2014;4:162–165. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Скиба Екатерина Анатольевна,
к.т.н., доцент, старший научный сотрудник,
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
✉ e-mail: eas08988@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina A. Skiba,
Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor, Senior Scientist,
Institute for Problems of Chemical
and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
✉ e-mail: 08988@mail.ru

Скиба Мария Алексеевна,
Краевое государственное бюджетное
общеобразовательное учреждение
«Бийский лицей-интернат Алтайского края»,
659302, г. Бийск, ул. Михаила Кутузова, 9/3,
Российская Федерация

Maria A. Skiba,
Biysk Lyceum School of Altai Region,
9/3, Mikhail Kutuzov St., Biysk, 659302,
Russian Federation

Пятунина Ольга Ивановна,
к.б.н., доцент, учитель биологии,
Краевое государственное бюджетное
общеобразовательное учреждение
«Бийский лицей-интернат Алтайского края»,
659302, г. Бийск, ул. Михаила Кутузова, 9/3,
Российская Федерация

Olga I. Pyatunina,
Cand. Sci. (Biology.), Associate Professor,
Teacher,
Biysk Lyceum School of Altai Region,
9/3, Mikhail Kutuzov St., Biysk, 659302,
Russian Federation

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*Поступила в редакцию 21.05.2021.
Одобрена после рецензирования 16.08.2021.
Принята к публикации 30.08.2021.*

*The article was submitted 21.05.2021.
Approved after reviewing 16.08.2021.
Accepted for publication 30.08.2021.*