

- 3 Неттевич Э.Д. О совершенствовании сортов яровой пшеницы, возделываемых в Центральном регионе России // Селекция и семеноводство. – 2000. № 4. – С. 10-14.
- 4 Хлесткина Е.К., Журавлева Е.В., Пшеничникова Т.А. и [др.] Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной продукции // Сельскохозяйственная биология. № 3, Т. 52. 2017. С. 501-514. doi 10.15389/agrobiology/2017/3/501rus.
- 5 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Технологическая оценка зерновых, крупяных и бобовых. М.: 1988. 121 с.
- 6 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 415 с.

DOI 10.18699/GPB2024-37

Изучение генетической коллекции мискантуса по устойчивости к абиотическим стрессам

Капустянчик С.Ю., д.с.-х.н., с.н.с. сектора интродукции и технологии возделывания с.-х. культур.

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, р.п. Краснообск, Россия

**email: kapustyanchik@bionet.nsc.ru*

*В 2017–2022 гг. на научно-экспериментальной базе СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН была проведена оценка коллекции мискантуса, представленная видами сахароцветного (*M. sacchariflorus*) 20 образцов и гигантского (*M. giganteus*) 1 образец на устойчивость к абиотическим стрессам. Исследуемые растения показали устойчивость по отношению к совокупности местных экологических факторов: не поражались болезнями и вредителями на протяжении 5 лет интродукции. Все интродуцированные образцы мискантуса оказались устойчивыми к местным зимним температурам за период исследований. Исследуемые образцы (за исключением образцов 13, 15, 27) проходили все этапы онтогенеза, однако жизнеспособных семян не формировали. При этом отмечено, что собранный исходный материал отличается по ритмам цветения (конец августа – сентябрь). По результатам проведенных исследований к числу перспективных образцов с высокой продуктивностью можно отнести мискантус сахароцветный под номерами 3, 12, 18, 19, 21, 23 и 25.*

Ключевые слова: мискантус сахароцветный, мискантус гигантский, устойчивость, биологические показатели, морфологические признаки.

Study of the genetic collection of miscanthus for resistance to abiotic stress

Kapustyanchik S.Yu., Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher sector of introduction and technology of cultivation of agricultural crops

Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia
email: kapustyanchik@bionet.nsc.ru

The miscanthus collection was assessed in 2017–2022 on the experimental base of SibRIPP&B – Branch of IC&G SB RAS. The collection is represented by M. sacchariflorus 20 samples and M. giganteus 1 sample. The assessment was carried out for resistance to abiotic stress. The studied plants showed resistance to local environmental factors: they were not affected by diseases and pests during 5 years of introduction. All introduced miscanthus samples proved to be resistant to local winter temperatures during the study period. The studied samples (with the exception of samples 13, 15, 27) went through all stages of ontogenesis, but did not form viable seeds. The source material differs in flowering rhythms (late August – September). Promising samples with high productivity include M. sacchariflorus under numbers 3, 12, 18, 19, 21, 23 and 25.

Keywords: sugary miscanthus, gigantic miscanthus, resistance, biological indicators, morphological characteristics.

Одним из новых направлений работ в селекции растений можно считать изучение и адаптация в регионы России культуры мискантус, выращиваемой с основной целью производства энергии и технической продукции. Культура высоко адаптивна, устойчива и неприхотлива к климатическим и почвенным условиям, характеризуется быстрым ростом и развитием, коротким вегетационным периодом отдельных видов [1–3].

В Сибири мискантус достаточно известен в качестве декоративного растения. Проблема выращивания культуры в целях получения биомассы в условиях Сибири остается практически не изученной. Возникла необходимость селекции мискантуса, способного поддерживать высокую продуктивность в рамках лимитирующих факторов континентального климата.

Объектами опыта являлись растительных образцы мискантуса. Цель опыта: оценить по комплексу признаков устойчивость растительных образцов мискантуса к абиотическим стрессам. Задачи: изучить морфологические и биологические показатели перспективности исходных образцов мискантуса в условиях континентального климата.

Питомник исходного материала заложен на научно-экспериментальной базе СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН (Новосибирская область, п. Мичуринский, 54°53'16,6"N, 82°59'37,3E") в 2017 г. на серых лесных глубокооуглеенных почвах[4]. Посадка осуществлялась гнездовым способом. Площадь одной микроделанки 120×120 см. Мискантус высаживали рассадой по 5 растений на деланку.

Повторность опыта 3-кратная. Исследования проводили в 2017–2022 гг. Морфологические признаки и биологические показатели оценивали ежегодно в течение вегетации растений.

Гидротермические условия лет исследования были контрастными. По данным «АМС Огурцово» в вегетационные периоды культуры (май–сентябрь): в 2019 и 2021 гг. сумма осадков составила 248 и 231 мм, сумма температур 2283 и 2380 °С соответственно; в 2017, 2018 и 2020 гг. сумма осадков составила 316, 297 и 314 мм, сумма температур 2340, 2199 и 2493 °С соответственно; в 2022 г. сумма осадков составила 150 мм, сумма температур 2420 °С, при среднемноголетних значениях 263 мм и 2248 °С. Из этих данных следует, что 2017, 2018 и 2020 гг. были умеренно переувлажненными (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 1,3); 2019 г. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 1,1) и 2021 г. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 0,9) – увлажненными; 2022 г. (ГТК₀₅₋₀₉ составляет 0,6) был засушливым.

В данном исследовании культивируются два вида рода – мискантус сахароцветный (*M. sacchariflorus* (Maxim.) Hack.) – 20 образцов и мискантус гигантский (*M. giganteus*) – 1 образец. (табл. 1).

Таблица 1 – Перечень образцов мискантуса

№ образца	Видовая принадлежность образца
1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25	<i>M. sacchariflorus</i>
27	<i>M. giganteus</i>

Примечание: образцы были получены от ИЦиГ СО РАН (г. Новосибирск)

Отличительные признаки видов мискантуса основаны на морфологическом анализе, которые оценивали путем глазомерной оценки, измерений и по балльным шкалам.

В первый год посадки происходит адаптация растений к полевым условиям произрастания. По показателям прироста за вегетацию (высота и масса растений) можно судить о приживаемости исходного материала. Так в изучаемых образцах наиболее продуктивными отмечены следующие номера: 1, 2, 5, 8, 14, 19, 22, 23, имеющие высоту растений в пределах от 78 до 107 см и массу 74–100 г /10 растений (табл. 2).

В 2018 г. к окончанию вегетационного периода образцы сформировали достаточно плотный травостой и полностью распределились по деляночной площади. По результатам исследований адаптивных качеств интродуцентов (5-балльная шкала морозостойкости), повреждаемости болезнями (5-балльные шкалы повреждаемости ржавчиной и мучнистой росой) и вредителями [5, 6], образцы получили предварительную оценку перспективности (табл. 3).

Таблица 2 – Морфологические особенности исходного материала мискантуса интродуцированного на территорию лесостепи Западной Сибири (n=4, M±SEM)

№	2017 г. (год посадки)			2019–2020 гг.				2021–2022 гг.				Облест-ть, %	Диаметр стеблей, мм	Фаза на момент уборки биомассы
	Высота растений, см	Масса 10 растений, г	Облест-ть, %	Высота, см	Густота стебл., шт./м ²	Кол-во метелок, шт./м ²	Масса снопа, г/м ²	Высота, см	Густота стебл., шт./м ²	Кол-во метелок, шт./м ²	Масса снопа, г/м ²			
1	83,3±11,0	89,3±3,8	51±1	157,0±1,4	102±25	14±4	277,0±29,7	151,6±3,7	212±32	48±11	498±38,8	54±1	3,5±0,3	отмирание
2	85,4±25,8	82,1±2,1	40±1	164,5±12,0	94±13	15±5	274,8±33,6	139,1±22,2	324±26	15±4	574±27,1	49±4	3,4±0,5	цветение
3	118,7±25,8	31,8±3,9	41±4	182,5±33,2	133±15	37±3	298,0±30,4	165,1±27,6	302±35	15±6	587,8±29,6	46±1	4,3±0,4	отмирание
5	78,2±25,8	74,4±5,7	31±5	166,0±18,4	100±11	25±7	284,3±18,0	169,6±11,9	262±21	28±8	642±37,0	54±2	3,5±0,5	начало цвет.
7	95,6±13,2	52,9±10,5	50±3	141,0±11,3	96±13	15±8	215,3±39,2	132,4±9,3	238±23	6±3	496,3±38,8	56±5	3,4±0,6	начало цвет.
8	78,5±13,7	97,5±4,3	53±1	138,5±12,0	55±18	11±5	158,0±28,8	164±9,9	244±28	80±29	643,6±28,5	50±7	3,5±0,3	отмирание
9	79,7±12,6	44,7±3,6	46±3	151,5±10,6	136±16	57±12	323,3±24,9	172,6±8,4	204±26	128±36	775,6±49,2	51±3	3,1±0,4	отмирание
11	91,3±7,0	52,2±5,0	54±1	152,0±12,6	83±18	45±14	237,3±15,3	148±7,9	156±15	100±24	562,4±37,1	54±5	3,3±0,5	отмирание
12	84,7±13,4	53,9±1,7	56±2	184,5±14,1	68±8,	56±8	230,5±33,9	160,6±12,4	304±14	174±49	1353,6±56,9	49±2	3,6±0,5	отмирание
13	85,6±18,6	60,42±3,4	43±1	149,0±16,2	84±17	0	194,8±23,0	147,95±12,1	316±29	16±3	589,42±26,0	52±5	3,3±0,3	начало цвет.
14	86,1±20,3	99,1±4,1	48±2	151,0±14,1	75±18	12±3	198,0±22,3	149,9±21,4	336±31	10±4	648±35,4	45±6	4,1±0,6	начало цвет.
15	65,7±10,2	32,6±3,4	52±1	134,5±11,3	83±19	0	183,8±24,8	152,2±23,8	240±17	0	540±19,1	52±5	2,7±0,3	флаговый лист
16	74,3±13,7	45,4±2,2	45±1	160,5±9,1	118±17	12±6	267,3±30,0	173,6±10,5	332±28	84±29	991,8±42,2	46±2	3,3±0,3	отмирание
17	81,3±21,9	48,9±3,5	44±1	149,5±9,1	98,5±11	42±17	212,8±23,7	165,7±15,7	298±31	16±5	584±26,7	48±6	2,8±0,4	цветение
18	90,4±20,0	62,4±4,4	44±1	189,5±7,7	92±19	66±19	240,3±31,5	168,2±15,8	272±20	41±14	594±15,7	45±1	3,6±0,2	отмирание
19	113,4±21,2	91,9±3,8	46±2	180,5±7,8	84±12	49±12	250,3±32,9	154,45±19,7	276±22	104±25	690,32±28,7	47±4	3,5±0,5	отмирание
21	84,8±23,8	69,4±0,6	47±1	211,0±28,2	103±17	66±9	332,3±11,0	168,6±12,8	222±18	52±18	585,7±28,5	45±2	3,2±0,6	отмирание
22	107,3±16,4	99,7±1,1	50±1	161,5±5,6	127±12	29±8	244,8±12,4	147,9±15,7	308±35	46±14	680±29,7	53±3	3,3±0,4	отмирание
23	81,2±19,4	83,4±2,9	53±1	160,5±14,8	72±13	50±13	210,5±31,1	152,7±16,0	356±2533	108±29	844,6±38,6	48±6	3,5±0,4	отмирание
25	87,5±18,6	54,4±0,9	49±2	144,0±4,9	110±15	64±16	242,5±6,4	147,1±7,8	284±25	20±5	582±24,1	45±3	2,9±0,4	отмирание
27	145,7±33,9	57,3±6,5	32±1	184,0±25,4	54±18	0	168,5±24,0	195±10,4	270±27	0	1381±49,2	49±7	5,1±0,6	нарастание

Все интродуцированные образцы мискантуса оказались устойчивыми к местным зимним температурам, болезням и вредителям, но у некоторых образцов не наступала генеративная фаза.

В 2019, 2020 гг. на сформированных деляночных площадях проводили анализ морфологических показателей растений. Стебель был прямостоячий у всех изучаемых образцов. Заметны различия в кущении: *M. giganteus* более компактен в отличие от *M. sacchariflorus*. Ризомы *M. Sacchariflorus* имеют широкие ползучие и толстые корневища. *M. giganteus* характеризуется укороченным типом корневищ, которые утолщены, уплотнены и менее разветвлены. В наших условиях все образцы мискантус размножаются делением куста, не давая жизнеспособных семян. Метелка (султана) (оценивались образцы, достигшие фазы цветения) – веерообразная, пушистая, с длинными осями и множеством кистей, в начале цветения (конец августа – начало сентября у большинства образцов) серебристая, затем, к середине – концу сентября белого цвета. Причем, в период цветения листья растений теряют зеленую окраску и становятся медно-желтыми.

Для оценки наземной биомассы мискантуса основными признаками являются высота полога, количество стеблей, диаметр стебля. По данным показателям, внутривидовые различия были высокими: высота растений варьировала в широких пределах – от 134 до 184 см, диаметр стебля – от 3,1 до 4,8 мм, количество стеблей на 1 м² составило от 55 до 136 шт./м². *M. giganteus*, представленный одним образцом, имел высоту 184 см и диаметр стебля 5,9 мм и 54 стебля на м². Сухое вещество также варьировало в зависимости от генотипов и достигало 158–332 г/ м².

Проведенный анализ по морфологическим и биологическим признакам (см. табл. 2 и 3), несмотря на высокую перспективность практически большинства образцов, позволил выделить следующие перспективные образцы – 2, 3, 8, 9–12, 16–21, 23, 25: их продуктивность колебалась от 210 до 332 г/м². Причем образцы 3, 12, 18, 19, 21, 23 и 25 достигли фазы отмирания, что говорит о лучшей приспособительной функции к условиям произрастания при получении сырья с низким содержанием влаги.

Таким образом, в условиях интродукции изучены образцы рода Мискантус, включающие 21 образец. Исследуемые растения показали устойчивость по отношению к совокупности местных экологических факторов, не поражались болезнями и вредителями на протяжении 5 лет интродукции. Все интродуцированные образцы мискантуса оказались устойчивыми к местным зимним температурам за период исследований. Исследуемые в наших условиях образцы (за исключением образцов 13, 15, 27) проходили все этапы онтогенеза, однако жизнеспособных семян не формировали. При этом отмечено, что собранный исходный материал

отличается по ритмам цветения (конец августа – сентябрь). По результатам проведенных исследований к числу перспективных образцов с высокой продуктивностью можно отнести мискантус сахароцветный под номерами 3, 12, 18, 19, 21, 23 и 25.

Таблица 3 – Биологические показатели и оценка перспективности образцов мискантуса при интродукции в 2018–2022 гг.

№ образца	Начало вегетации	Начало генеративной фазы	Устойчивость к болезням и вредителям	Зимо- и морозоустойчивость	Зона зимостойкости	Группа перспективности
1	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
2	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
3	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
5	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
7	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
8	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
9	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
11	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
12	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
13	29.05/07.06	*	0	5	2	II
14	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
15	29.05/07.06	*	0	5	2	II
16	29.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
17	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
18	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
19	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
21	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
22	29.05/07.06	14.09/15.09	0	5	2	I
23	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
25	20.05/23.05	21.08/27.08	0	5	2	I
27	29.05/07.06	*	0	5	2	II

*Образцы, у которых генеративная фаза не наступила.

Финансирование: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Список литературы

- 1 Dong H., Green S.V., Nishiwaki A., Yamada T., Stewart J.R., Deuter M., Sacks E.J. Winter hardiness of Miscanthus (I): Overwintering ability and yield of new Miscanthus $\frac{1}{2}$ giganteus geno-types in Illinois and Arkansas. *Global Change Biology — Bioenergy*, 2018, 11(5): 691–705. doi: 10.1111/gcbb.12588.
- 2 Dorogina O.V., Vasil'eva O.Yu., Nuzhdina N.S., Buglova L.V., Gismatulina Yu.A., Zhmud' E.V., Zueva G.A., Komina O.V., Tsybchenko E.A. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*, 2018, 22(5): 553–559 doi: 10.18699/VJ18.394.
- 3 Nunn C., Hastings A.F.S.J., Kalinina O., Özgüven M., Schüle H., Tarakanov I.G., Van Der Weijde T., Anisimov A.A., Iqbal Y., Kiesel A., Khokhlov N.F., McCalmont J.P., Meyer H., Mos M., Schwarz K.U., Trindade L.M., Lewandowski I., Clifton-Brown J.C. Environmental influences on the growing season duration and ripening of diverse Miscanthus germplasm

grown in six countries. *Frontiers in Plant Science*, 2017. № 8. P. 1–14. doi: 10.3389/fpls.2017.00907.

4 Классификация и диагностика почв СССР // М.: Колос, 1977. 224 с.

5 Зоны морозостойкости, USDA-зоны, температурные значения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pro-rasteniya.ru/glossariy/zoni-morozostoykosti-usda-zonitemperaturnieznacheniya> (дата обращения: 20.03.2022).

6 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1989. Вып. 2: 195 с.

DOI 10.18699/GPB2024-38

Редактирование генома возделываемых сортов пшеницы и ячменя с использованием направленной нуклеазы Cas9 для улучшения сельскохозяйственных признаков

Киселёва А.А.^{1,2}, к.б.н., с.н.с.; Тимонова Е.М.^{1,2}, к.б.н., н.с.; Бережная А.А.², м.н.с.; Короткова А.М.^{1,2}, м.н.с.; Коложвари А.Э.¹, лаб-иссл.; Нестеров М.А.^{1,2}, м.н.с.; Кочетов А.В.^{1,2}, д.б.н., ак., директор; Салина Е.А.^{1,2}, д.б.н., г.н.с., проф.

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Курчатовский геномный центр, Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*email: antkiseleva@bionet.nsc.ru

В данной работе мы адаптировали протоколы для биолистической трансформации возделываемых сортов пшеницы и ячменя. С использованием данного подхода мы получили растения линии Велют с ускоренным колошением благодаря редактированию генов PPD-1 и растения ячменя сорта «Целинный 5» с голозерным фенотипом в результате редактирования гена NUD.

Ключевые слова: мягкая пшеница, ячмень, геномное редактирование.

Genome editing of wheat and barley cultivars using Cas9 nuclease to improve agricultural traits

Kiseleva A.A., Timonova E.M., Berezhnaya A.A., Korotkova A.M., Kolozhvari A.E., Nesterov M.A., Kochetov A.V., Salina E.A.

Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

Kurchatov Genomics Center of the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

*email: antkiseleva@bionet.nsc.ru

In this work, we adapted protocols for biolistic transformation of cultivated varieties of barley and wheat. Using this approach, we obtained wheat plants of the Velut line with accelerated heading due to editing of the PPD-1 genes and barley plants of