

Фуражные качества гетерозисных межродовых гибридов кукурузы с гамаграссом

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23

УДК 636.085.33

Поступление/Received: 16.03.2019

Принято/Accepted: 11.03.2020



Fodder qualities of heterotic hybrids from intergeneric crosses between maize and eastern gamagrass

П. А. ПАНИХИН^{1, 2*}, В. А. СОКОЛОВ¹P. A. PANIKHIN^{1, 2*}, V. A. SOKOLOV¹

¹ Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН, 630090 Россия, г. Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 8/2

* ✉ panikhin@mcb.nsc.ru

✉ sokolov@mcb.nsc.ru

¹ Institute of Molecular and Cellular Biology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8/2 Acad. Lavrentieva Ave. Novosibirsk 630090, Russia

* ✉ panikhin@mcb.nsc.ru

✉ sokolov@mcb.nsc.ru

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia

Урожайность зеленой массы и фуражные качества являются отправным моментом в выборе кормовых сельскохозяйственных культур. Кукуруза – растение С4 пути фотосинтеза, в связи с чем она максимально эффективно трансформирует энергию света в энергию химических связей, что в итоге приводит к наивысшей продуктивности с единицы площади посева. Ее зерно и зеленая масса обладают хорошими кормовыми качествами и активно используются в рационах крупного и мелкого рогатого скота, а также птицы. Дикий сородич кукурузы гамаграсс восточный (*Tripsacum dactyloides* L.) широко распространен на равнинах Северной и Южной Америки. К настоящему времени он получил всеобщее признание животноводов как пастбищная и фуражная культура. Так, в США создано и возделывается более 10 коммерческих сортов этого растения. Гамаграсс, также являясь растением С4 пути фотосинтеза, обладает высокой продуктивностью и фуражной ценностью получаемого из него сена. В наших исследованиях мы решили объединить хозяйственно ценные качества этих растений путем создания межродовых гибридов. В данной работе изложены результаты оценки фуражных качеств апомиктических кукурузно-трипсакумных гибридов, где к 36 хромосомам гамаграсса были добавлены два генома кукурузы от линий, участвующих в гибридной селекции для получения семян F₁.

Полученные формы кукурузно-трипсакумных гибридов в течение нескольких лет постоянно демонстрируют бесполое размножение и гетерозис по урожайности зеленой массы. Результаты зоотехнического анализа образцов показали, что гибриды, где к 36 хромосомам гамаграсса добавлены хромосомы линий, используемых в коммерческом семеноводстве для получения гетерозиса в F₁, превосходят по биохимическим показателям растения с добавлением 20 хромосом от одной из кукурузных линий, использованных в гибридизации. Теоретическая оценка урожайности зеленой массы кукурузно-трипсакумных гибридов в пересчете на гектар площади составляет около 650 ц.

Ключевые слова: *Tripsacum dactyloides*, кукурузно-трипсакумные гибриды, зоотехнический анализ, сахара, крахмал, аминокислоты, урожайность зеленой массы.

Green biomass yield and fodder qualities are the starting point in the choice of forage crops. Maize, as a plant with the C4 pathway of photosynthesis, is highly efficient in transforming the energy of light into chemical bond energies, which ultimately leads to the highest yield per unit area of cultivated land. Its grain and green biomass possess good fodder qualities and are actively used in feed rations for cattle, smaller ruminants, and poultry. Eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides* L.), a wild relative of maize, is widespread over the plains of North and South America. To date, it has received universal recognition among breeders as a forage and fodder crop. More than 10 commercial cultivars have already been developed and cultivated in the United States. Eastern gamagrass is a C4 plant as well, characterized by high yield and high feed value of hay. We decided to combine in our research economically valuable qualities of this plant by developing apomictic intergeneric hybrids. This paper presents the results obtained in the process of assessing fodder qualities of apomictic maize × *Tripsacum* hybrids, where two maize genomes from the lines participating in hybrid selection for F₁ seeds were added to the 36 chromosomes of eastern gamagrass. The maize × *Tripsacum* hybrid forms, produced during a number of years, persistently demonstrated an apomictic reproduction pattern and heterosis in green biomass productivity. Zootechnical analysis of plant samples showed that the hybrids, in which chromosomes of the lines used in commercial seed production to obtain heterosis in F₁ had been added to the 36 chromosomes of eastern gamagrass, exceeded in their biochemical indicators the plants, in which 20 chromosomes from one of the maize lines earlier used in hybridization at our laboratory had been added. A theoretical estimate of green biomass yield calculated per hectare for the maize × *Tripsacum* hybrids is about 65 tons.

Key words: *Tripsacum dactyloides*, maize × *Tripsacum* hybrids, zootechnical analysis, sugar, starch, amino acids, green biomass yield.

Введение

Абсолютно большее число площадей под кукурузу засеивается гибридными сортами, проявляющими эффект гетерозиса. Однако это достаточно дорогая технология, так как значительные площади необходимы для поддержания родительских линий. Поэтому весьма желательно получать семенной материал, устойчиво экспрессирующий эффект гибридной силы в последовательных поколениях. Идея закрепления гетерозиса у кукурузы через размножение, исключая сегрегацию генов, была предложена замечательными учеными, сотрудниками Н. И. Вавилова – Г. Д. Карпеченко и М. С. Навашиным (Navashin, 1933) в тридцатых годах XX века. Однако проект по получению апомиктической кукурузы был начат только в 1958 году. В качестве источника генов апомиксиса предлагался ее дикий сородич – гамаграсс восточный (*Tripsacum dactyloides* L.) (Petrov, 1957, 1964). Как и многие другие злаки, гамаграсс имеет полиплоидные ряды $2n = (2x = 36; 3x = 54; 4x = 72; 6x = 108)$. Но в природе наиболее распространены диплоидные и тетраплоидные формы (De Wet et al., 1982; Springer, Dewald, 2004), при этом диплоиды размножаются половым путем, а полиплоиды – бесполосеменным (апомиктическим) (Burson et al., 1990). Способность произрастать в широком ареале агроэкологических и климатических условий является уникальным свойством гамаграсса, а высокие урожаи даваемого сена (до 13 т/га), обладающего близкой к люцерне фуражной ценностью, сделали его культурой, весьма востребованной в США, где в настоящее время возделывается более 10 коммерческих сортов этого растения (Roberts, Kallenbach, 1999). В значительной степени благодаря его широкому использованию решены многие проблемы кормопроизводства и пастбищ для крупного рогатого скота (Horner et al., 1985; Coblenz et al., 2010; Burns et al., 1992). Продолжительное время гамаграсс привлекает исследователей как источник генов устойчивости для кукурузы, поскольку, являясь ее отдаленным сородичем, может гибридизировать с ней и передавать ценные признаки устойчивости к биотическим и абиотическим факторам (Eubanks, 2000, 2006). В лаборатории цитологии и апомиксиса растений Института молекулярной и клеточной биологии (ИМКБ) СО РАН (до 2009 года лаборатория входила в состав Института цитологии и генетики [ИЦиГ] СО РАН) впервые в мире были получены апомиктические гибриды кукурузы с гамаграссом (Belousova et al., 1972). Эта работа проводилась с целью закрепления гетерозиса. В результате проведенных исследований было показано, что признак бесполосеменного размножения контролируется большим пулом генов и для его экспрессии необходимо присутствие девяти определенных хромосом дикого родителя (Belova et al., 2010). Наличие у гибридов значительного количества генетического материала от гамаграсса сопровождается экспрессией нежелательных признаков, таких как многостебельность, малая величина початков, полная мужская и частичная женская стерильность.

В этой связи нами был предложен иной путь гибридизации и получения перспективного исходного селекционного материала. Поскольку гамаграсс дает высокий урожай качественного фуража, его гибриды с кукурузой могут сохранить этот признак, так как апомиксис закрепляет гетерозис в F_1 и во всех последующих поколениях, и при этом быть более продуктивными в расчете на единицу площади. Используя изложенную идею, путем двухэтапной гибридизации мы

создали апомиктические 56-хромосомные гибриды, где к 36 хромосомам гамаграсса добавили два генома кукурузы от линий, участвующих в получении гетерозисных форм F_1 (Panikhin et al., 2014).

Цель настоящего исследования – оценка фуражных качеств гибридов.

Материалы и методы

Исходные родительские формы. *T. dactyloides* (Td) ($2n = 4x = 72$) – получен из Ташкентского ботанического сада, куда был привезен Н. И. Вавиловым из Мексики. С 1960 года и по настоящее время размножается в лаборатории вегетативно. Кукурузные (*Zea mays* (Zm)) линии 573 и 611 селекции НПО «КОС-Маис», участвующие в создании простого гетерозисного гибрида Кубанский 601.

Получение 56-хромосомных апомиктических гибридов проводили в два этапа. На первом этапе гибридизировали родительские кукурузные линии с *T. dactyloides*, получая 46-хромосомных F_1 для линии 573 – $2n = 46 = (10Zm \text{ линия } 573 + 36Td)$, для линии 611 – $2n = 46 = (10Zm \text{ линия } 611 + 36Td)$. Опыление проводили по методике П. Мангельсдорфа и Р. Ривза (Mangelsdorf, Reeves, 1931). На втором этапе гибридизировали полученные F_1 , опыляя каждую гибридную комбинацию пыльцой каждого кукурузного родителя с получением гибридов общего геномного состава $2n = 56 = (20Zm + 36Td)$. Фуражные качества исследовали у 56-хромосомных кукурузно-трипсакумных гибридов следующих геномных комбинаций:

№ 646 – $2n = 56 = [(10Zm \text{ линия } 611 + 36Td) + 10Zm \text{ линия } 573]$;

№ 647 – $2n = 56 = [(10Zm \text{ линия } 573 + 36Td) + 10Zm \text{ линия } 573]$;

№ 648 – $2n = 56 = [(10Zm \text{ линия } 573 + 36Td) + 10Zm \text{ линия } 611]$.

В качестве контроля использовали тетраплоидную белозерную кукурузу с принятым названием «Тетраплоид Шумного» $2n = 4x = 40$ – № 649.

Гибридные растения отбирали на стадии выметывания колоса, тетраплоидную кукурузу – в стадии молочной спелости зерна. Для исследования отбирали по 10 растений каждого образца в случайном порядке. Срезанные растения сушили 30 дней в тени на открытом воздухе, после чего измельчали и формировали среднюю пробу массой в 2 кг для каждой геномной комбинации (Правила отбора проб искусственно высушенных травяных кормов; <http://docs.cntd.ru/document/1200113892> п.4), которую и анализировали.

Исследование содержания в образцах сухого вещества и влаги, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, сырой золы, сахара и крахмала, аминокислот было проведено в лаборатории биохимии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН¹. Исследование аминокислот проводилось на аппарате NIRSystems-4500. Анализ спектров образцов осуществлялся в диапазоне 1300–2400 нм с шагом 1 нм и использованием калибровочных уравнений.

Оценку продуктивности зеленой массы кукурузно-трипсакумных гибридов проводили в 2018 году на экспериментальном участке на базе ООО ИПА «Отбор», пос. Комсомольский Кабардино-Балкарской республики. Площадь учетного участка составила 633 м²; на

1 Сибирский научно-исследовательский и проектно-технологический институт животноводства Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Сибирского отделения Российской академии наук

нем произрастало 323 гибрида в 17 рядах с расстоянием между рядами и растениями по 1,4 м.

Достоверность различий изучаемых признаков, отвечающих за потенциальную урожайность зеленой массы, при сравнении гибридных комбинаций оценивали по *t*-критерию Стьюдента с использованием математико-статистических таблиц значения *t* при данном числе степеней свободы и величине вероятности *p*. Величины признаков предварительно проверяли на нормальность распределения через сравнение среднего значения, моды и медианы; также рассчитывали показатели асим-

метрии и эксцесса. Достоверность равенства дисперсий в паре выборок для каждого признака оценивали по критерию Фишера при уровне значимости $\bar{\alpha} = 0,05$. Расчеты были выполнены в программе Microsoft Office Excel 2007.

Результаты

Результаты биохимического анализа средней пробы образцов высушенных и измельченных растений кукурузно-трипсакумных гибридов и кукурузного контроля приведены в таблице 1.

Таблица 1. Биохимические показатели образцов, %

Table 1. Biochemical indicators of samples, %

№ п/п	Показатели Indicators	Регистрационный номер образца Sample registration number			
		№ 646*	№ 647*	№ 648*	№ 649*
1	Сухое вещество	97,61	97,42	97,5	97,62
2	Влажность	9,55	9,94	9,44	11,18
3	Сырой протеин	11,23	9,8	10,92	13,84
4	Сырой жир	1,03	0,29	0,83	0,23
5	Сырая клетчатка	28,4	31,03	30,9	20,18
6	Сырая зола	6,62	5,89	5,66	4,72
7	Сахара	13,32	15,82	18,89	12,07
8	Крахмал	0,58	7,2	4,46	27,64
Аминокислоты Amino acids					
9	Лизин	0,29	0,28	0,33	0,37
10	Лейцин	0,56	0,59	0,67	0,43
11	Изолейцин	0,37	0,35	0,31	0,20
12	Метионин	0,07	0,08	0,05	0,11
13	Цистеин	0,03	0,04	0,03	0,06
14	Фенилаланин	0,49	0,45	0,57	0,38
15	Тирозин	0,32	0,24	0,42	0,31
16	Треонин	0,34	0,32	0,42	0,39
17	Триптофан	0,19	0,23	0,21	0,19
18	Валин	0,52	0,49	0,69	0,60
19	Аспаргин	1,02	0,98	1,25	0,79
20	Серин	0,32	0,25	0,30	0,55
21	Глутамин	0,89	0,86	1,11	1,04
22	Глицин	0,20	0,29	0,32	0,37
23	Аланин	0,43	0,53	0,60	0,45
24	Аргинин	0,34	0,24	0,23	0,35
25	Гистидин	0,18	0,21	0,22	0,15
26	Пролин	0,51	0,63	0,68	0,50

* Соответствие регистрационных номеров образцов геномным комбинациям см. в разделе «Материалы и методы»

* For compliance of sample registration numbers with genome combinations, see the Materials and Methods Section

Результаты содержания сухого вещества в исследованных образцах (см. табл. 1) говорят о незначительных различиях между ними. Более высокая остаточная влажность у образца № 649, возможно, связана с наличием у него початка. Сравнение кукурузы и кукурузно-трипсакумных гибридов показывает превосход-

ство контроля (образец № 649) по 10 показателям: сырой протеин, сырая зола, сырая клетчатка, крахмал и аминокислоты: лизин, метионин, цистеин, серин, глицин, аргинин, причем по пяти показателям контроль показывает абсолютное превосходство – сырой протеин, сырая зола, сырая клетчатка, крахмал и серин.

Видимо, такие высокие показатели связаны с фазой уборки кукурузы, а именно молочной спелостью зерна и наличием крупного початка, тогда как початки кукурузно-трипсакумных гибридов (рис. 1), скорее напоминают колос (рис. 2). Образцы гибридов, подвергнутых анализу, собирались не опылёнными, поэтому початки в их составе не содержали зёрен.

Из сравнительного анализа образцов видно, что показатели у № 646 и 648 выше, чем у № 647, по 20 параметрам, за исключением крахмала, по которому образец № 647 преобладает над № 648 с разницей в 1,5 раза, а над образцом № 646 – на порядок, и некоторых аминокислот: метионина, цистеина и триптофана. Сравнение образцов № 646 и № 648 фиксирует наиболее значительные различия по сырому протеину, сырому жиру, сырой золе, сахару и крахмалу, а также аминокислотам – лейцину, фенилаланину, тирозину, треонину, валину, аспаргину, глутамину, глицину, аланину и пролину.

Таким образом, результаты биохимического исследования показывают, что образцы № 646 и 648 по сумме показателей обладают лучшими фуражными качествами по сравнению с образцом № 647. В то же время совокупно образцы № 646 и 647 превосходят образец № 648 по зоотехническим показателям, за исключением содержания сырой золы и крахмала, а образец № 648 превосходит образцы № 646 и 647 по большинству аминокислот.

В процессе подготовки все образцы были подвергнуты длительной естественной сушке, при которой у срезанных растений изменяется состав химических компонентов вследствие двух последовательно проходящих процессов: первый – физиолого-биохимический (голодный обмен) во время увядания, второй – биохимический (автолиз) при досушке. Общий процент потерь питательных веществ при естественной сушке может достигать 35–50% (Pavlovsky et al., 2010).



Рис. 1. Растение 56-хромосомного кукурузно-трипсакумного гибрида

Fig. 1. A plant of the 56-chromosome maize × *Trypsacum* hybrid



Рис. 2. Колосья 56-хромосомных кукурузно-трипсакумных гибридов

Fig. 2. Spikes of the 56-chromosome maize × *Trypsacum* hybrids

Одним из видов кормов, заготавливаемых путем естественной сушки, является сено. Нормативные показатели оценки питательности сена приведены в таблице 2 (Methodological Guidelines..., 2002).

Сравнение данных зоотехнического анализа образцов кукурузно-трипсакумных гибридов с требованиями, предъявляемыми к качеству и питательности грубых кормов, в частности сена, наводят на мысль о том, что образцы № 646, 647 и 648 могут быть отнесены к 1–2-му классу сена по содержанию сухого вещества, сырой клетчатки и сырой золы.

Возможное использование гибридов в качестве фуражной культуры требует оценить их теоретическую урожайность, а также выяснить, превосходит ли форма, содержащая гаплоидные наборы родительских кукурузных линий $2n = 56 = [(10Zm \text{ линия } 573 + 36Td) + 10Zm \text{ линия } 611]$, и таковую, полученную на основе только одной из них $2n = 56 = [(10Zm \text{ линия } 573 + 36Td) + 10Zm \text{ линия } 573]$. Для подсчета и сравнения использовали выборки из соответственно 45 и 44 растений вышеозначенных гибридных комбинаций (табл. 3).

Являясь кустовым злаком, гамаграсс передает признак многостебельности и кукурузно-трипсакумным гибридам, урожайность которых обеспечивается в основном листостебельной массой. В таблице 3 приведены средние значения и средние квадратичные от-

клонения признаков, влияющих на урожайность зеленой массы.

При сравнении гибридных комбинаций достоверность различий изучаемых признаков оценивали с помощью t -критерия Стьюдента при $v = 87$ и $t_{кр} = 1,9901$ для $p < 0,05$. Предварительная проверка нормальности распределения значений признаков из таблицы 3 показала, что каждое среднее значение примерно равно моде и медиане, а значения асимметрии и эксцесса мало отличаются от нуля. На этом основании распределения значений признаков можно считать нормальными. Сравнение дисперсий выборок по каждому признаку показало, что они попарно равны. Проверка гипотезы о равенстве генеральных средних установила, что для признаков «высота растения» и «масса одного растения» экспериментальные значения критерия T составили $t_{набл} = 1,778$ и $t_{набл} = 0,706$ соответственно и не попали в критическую область $T < t_{кр}$, что говорит о равенстве генеральных средних и отсутствии достоверных различий между гибридными комбинациями по данным изученным характеристикам. Тогда как для признаков «количество стеблей» и «масса одного стебля» экспериментальные значения критерия T составили $t_{набл} = 3,742$ и $t_{набл} = 4,75$ соответственно и попали в критическую область $T \geq t_{кр}$, что означает достоверные различия между гибридными комбинациями для данных исследованных признаков.

Таблица 2. Нормативные требования оценки качества и питательности сена сеянного злакового

Table 2. Regulatory requirements for assessing the quality and nutritional value of sown grass hay

Показатели Indicators	Класс Category		
	1	2	3
Массовая доля сухого вещества, %, не менее	83	83	83
Массовая доля в сухом веществе сена			
Сырого протеина, %, не менее	12	10	8
Сырой клетчатки, %, не более	32	34	36
Сырой золы, %, не более	10	11	12

Таблица 3. Сравнение теоретической урожайности 56-хромосомных кукурузно-трипсакумных гибридов разного геномного состава

Table 3. Comparison of theoretical yields between the 56-chromosomal maize × *Tripsacum* hybrids with different genomic compositions

Признаки The features	Гибридная комбинация $2n = 56$ Hybrid combination $2n = 56$	
	[[10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 573]	[[10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 611]
Высота растения, см	229,75 ± 21,07	237,64 ± 20,34
Количество стеблей, шт	18,52 ± 3,87***	15,51 ± 3,64
Масса одного стебля, кг	0,84 ± 0,13	0,97 ± 0,13***
Масса одного растения, кг	15,56 ± 3,25	15,05 ± 3,53
Теоретическая урожайность ц/га	620 – 948	580 – 936

Звездочками отмечена достоверность отличий между гибридными комбинациями: *** $p < 0,001$.

Таким образом, сравнение средних значений изученных признаков показало, что достоверные различия между гибридными комбинациями по количеству стеблей на растение и массе одного стебля тем не менее не дают достоверных различий по массе одного растения. Однако на основании тех же данных можно заключить, что примерно одинаковая средняя масса растения у приведенных гибридных комбинаций формируется либо за счет количества подгонов (дополнительные стебли) при меньшей массе одного стебля, либо большей массы подгона при меньшем их количестве. Таким образом, можно предположить, что для гибридной комбинации, несущей в своем составе гаплоидные наборы обеих кукурузных линий, характерно более интенсивное протекание обменных процессов, ведущих к более массивным подгонам.

Практический учет зеленой массы кукурузно-трипсакумных гибридов проводили в конце сентября – начале октября. Общая масса зеленых частей гибридов на учетном участке составила 4202,23 кг. В пересчете на гектар при той же густоте стояния растений (примерно 5041 растение) продуктивность составит 65 583,41 кг.

Выводы

1. Биохимический анализ показал, что контрольный образец (тетраплоидная кукуруза) по некоторым показателям превосходит кукурузно-трипсакумные гибриды, но это, скорее всего, объясняется тем, что контроль имеет крупный початок и взят в работу в фазе, когда зерно было в состоянии молочной спелости, тогда как кукурузно-трипсакумные гибриды в анализируемых образцах зерна не содержали.

2. Сравнение биохимических и зоотехнических показателей среди группы кукурузно-трипсакумных гибридов позволило установить, что комбинации, где присутствуют геномы обоих кукурузных родителей, используемых в гетерозисной селекции (образцы № 646 и 648), превосходят форму с диплоидным набором хромосом от линии 573 (образец № 647).

3. Длительный период естественной сушки без плющения стеблей, видимо, негативным образом сказался на фуражной ценности кукурузно-трипсакумных гибридов. Тем не менее, даже при этом образцы обладают достаточно высокими нормативными качествами, предъявляемыми к грубым кормам по общепринятым нормативам, а содержание сырой клетчатки и золы, негативно влияющих на пищеварение крупного рогатого скота, у изученных образцов даже ниже нормативного.

4. Масса куста кукурузно-трипсакумного гибрида с родительской кукурузной комбинацией [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 573] формируется за счет количества подгонов (дополнительные стебли), а с гетерозисной комбинацией [(10Zm линия 573 + 36Td) + 10Zm линия 611] – за счет массы подгона. Практическая оценка урожайности кукурузно-трипсакумных гибридов в пересчете на гектар площади дала выход зеленой массы в 65 т.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

References/Литература

- Belousova N.I., Laykova L.I., Fokina E.S. Apomixis in the second and third generations of maize × *Tripsacum* hybrids (Apomixis vo vtorem i tretyem pokoleniyakh gibridov kukuruzy s tripsakum). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya AN SSSR = News of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences*. 1972;10(4):43-45. [in Russian] (Белоусова Н.И., Лайкова Л.И., Фокина Е.С. Апомиксис во втором и третьем поколениях гибридов кукурузы с трипсакум. *Известия Сибирского отделения АН СССР*. 1972;10(4):43-45).
- Belova I.V., Tarakanova T.K., Abdyrahmanova E.A., Sokolov V.A., Panikhin P.A. Chromosome control of apomixis in maize-gamagrass hybrids. *Russian Journal of Genetics*, 2010;46(9):1055-1057. [in Russian] (Белова И.В., Тараканова Т.К., Абдырахманова Э.А., Соколов В.А., Панихин П.А. Хромосомный контроль апомиксиса у гибридов кукурузы с гамаграассом. *Генетика*. 2010;46(9):1055-1057). DOI: 10.1134/S1022795410090103
- Burns J.C., Fiser D.S., Pond K.R., Timothy D.H. Diet characteristics, digesta kinetics, and dry matter intake of steers grazing eastern gamagrass. *Journal of Animal Science*. 1992;70(4):1251-1261. DOI: 10.2527/1992.7041251x
- Burson B.L., Voigt P.W., Sherman R.A., Dewald C.L. Apomixis and sexuality in eastern gamagrass. *Crop Science*. 1990;30(1):86-89. DOI: 10.2135/cropsci1990.0011183X003000010020x
- Coblentz W.K., Jokela W.E., Hoffman P.C., Bertram M.G. Unique dairy applications for eastern gamagrass forages in central Wisconsin: I. Yield potential. *Agronomy Journal*. 2010;102(6):1710-1719. DOI: 10.2134/agronj2010.0259
- De Wet J.M.J., Harlan J.R., Brink D.E. Systematics of *Tripsacum dactyloides* (Gramineae). *American Journal of Botany*. 1982;69(8):1251-1257. DOI: 10.2307/2442749
- Eubanks M.W. A genetic bridge to utilize *Tripsacum* germplasm in maize improvement. *Maydica*. 2006;51(2):315-327.
- Eubanks M.W. The origin of maize: Evidence for *Tripsacum* ancestry. *Plant Breeding Reviews*. 2000;20:15-66. DOI: 10.1002/9780470650189.ch2
- Horner J.L., Bush L.J., Adams G.D., Taliaferro C.M. Comparative Nutritional Value of Eastern Gamagrass and Alfalfa Hay for Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 1985;68(10):2615-2620. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(85)81145-0
- Mangelsdorf P.C., Reeves R.G. Hybridization of Maize, *Tripsacum*, and *Euchlaena*. *Journal of Heredity*, 1931;22(11):329-343. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a103399
- Methodological Guidelines for Evaluation of Feed Quality and Nutritive Value (Metodicheskiye ukazaniya po otsenke kachestva i pitatelnosti kormov). Ministry of Agriculture of the Russian Federation; 2002. [in Russian] (Методические указания по оценке качества и питательности кормов. МСХ РФ; 2002). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200113892> [дата обращения 10.11.2018].
- Navashin M.S. New opportunity in breeding (Novaya vozmozhnost v selektsii). *Semenovodstvo = Seed Production*. 1933;(2):11-17. [in Russian] (Навашин М.С. Новая возможность в селекции. *Семеноводство*. 1933;(2):11-17).
- Panikhin P.A., Abdyrahmanova E.A., Blakey C.A., Sokolov V.A. The Maize@Gamagrass Hybrids (2n = 56, 20Zm + 36Td) Carrying Genomes of the Lines Used for

- Obtaining Heterosis F1. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*. 2014;88). Available from: <https://mnl.maizegdb.org/88/html/06panikhin.htm> [accessed Feb. 7, 2019].
- Pavlovsky V.K., Grakun V.V., Burdyko V.M., Burdyk P.I., Privalov F.I., Vasko P.P., Abraskova S.V., Samosuk V.G., Tchegotarev V.P., Labotsky I.M., Vakhonin N.K., Meerovsky A.S., Birukovich A.L. Technologies and maintenance of forage conservation including grasses and silage cultures. *Melioratsiya = Land Reclamation*. 2010;2(64):192-215. [in Russian] (Павловский В.К., Гракун В.В., Бурдыка В.М., Бурдук П.И., Привалов Ф.И., Васьюк П.П., Абраскова С. В., Самосюк В.Г., Чеботарёв В.П., Лабощкий И.М., Вахонин Н.К., Мееровский А.С., Бирюкович А.Л. Технологии и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур. *Мелиорация*. 2010;2(64):192-215).
- Petrov D.F. On the possibility of using apomixis for fixing heterosis in linear hybrids of maize (O vozmozhnosti ispolzovaniya apomiksisa dlya zakrepleniya geterozisa u linejnykh gibridov kukuruzy). In: *All-Union Conference on the Production of Hybrid Maize Seeds (Vsesoyuznoye soveshchaniye po proizvodstvu gibridnykh semyan kukuruzy)*. Moscow: USSR Ministry of Agriculture Publishers; 1957. p.173-176. [in Russian] (Петров Д.Ф. О возможности использования апомиксиса для закрепления гетерозиса у линейных гибридов кукурузы. В кн.: *Всесоюзное совещание по производству гибридных семян кукурузы*. Москва: Изд-во Министерства сельского хозяйства СССР; 1957. С.173-176).
- Petrov D.F. Apomixis and distant hybridization (Apomixis i otdannaya gibridizatsiya). In: Petrov D.F. (ed.). *Cytology and breeding of cultivated plants (Tsitologiya i selektsiya kulturnykh rasteniy)*. Novosibirsk: Ed. & Publ. Dept. of Sib. Div., USSR Acad. Sci.; 1964. p.6-17. [in Russian] (Петров Д.Ф. Апомиксис и отдаленная гибридизация. В кн.: *Цитология и селекция культурных растений* / под ред. Д.Ф. Петрова. Новосибирск: Ред.-изд. отд. СО АН СССР; 1964. С.6-17).
- Roberts C., Kallenbach R. Eastern Gamagrass. University of Missouri; 1999. Available from: <https://extension2.missouri.edu/g4671> [accessed Jan. 25, 2019]
- Springer T.L., Dewald C.L. Eastern Gamagrass and Other *Tripsacum* species. In: Moser L.E., Burson B.L., Sollenberger L.E. (eds). *Warm-Season (C₄) Grasses*. Madison, WI; 2004. p.955-974.

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования/How to cite this article

Панихин П.А., Соколов В.А. Фуражные качества гетерозисных межродовых гибридов кукурузы с гамаграссом. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(1):17-23. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23

Panikhin P.A., Sokolov V.A. Fodder qualities of heterotic hybrids from intergeneric crosses between maize and eastern gamagrass. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):17-23. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-17-23

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-17-23>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись/All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest

ORCID

Panikhin P.A. <https://orcid.org/0000-0002-7158-7449>

Sokolov V.A. <https://orcid.org/0000-0002-5824-0248>