

ФУРАЖНЫЕ КАЧЕСТВА ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ С ГАМАГРАССОМ

¹П.А. Панихин, младший научный сотрудник

^{1,2}В.А. Соколов, доктор биологических наук

¹Институт молекулярной и клеточной биологии
СО РАН, Новосибирск, Россия

²Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург,
Россия

E-mail: sokolov@mcb.nsc.ru

Ключевые слова: гамаграсс, кукуруза, кукурузно-трипсакумные гибриды, гетерозис, фуражные признаки, зоотехнический анализ, сахара, крахмал, аминокислоты

Реферат. *Фуражная ценность и выход зелёной массы с единицы посевной площади – ключевые моменты в выборе кормовых сельскохозяйственных культур. Кукуруза является одним из таких растений. Ее зерно и зелёная 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*) широко распространен на равнинах Северной и Южной Америки. В последние десятилетия он получил всеобщее признание животноводов как пастбищная и фуражная культура. Так, в США на настоящий момент реализовано более 10 коммерческих сортов. Гамаграсс обладает высокой продуктивностью и питательной ценностью получаемого из него сена. В данной работе приводятся результаты оценки фуражных качеств апомиктичных кукурузно-трипсакумных гибридов, где к 36 хромосомам гамаграсса были добавлены два генома кукурузы от линий, участвующих в гибридной селекции для получения семян F_1 . У созданных гибридных растений проведено сравнительное изучение фуражных качеств и оценка их потенциальной урожайности по зелёной массе. Результаты исследований показали, что образцы гибридов, где к 36 хромосомам гамаграсса добавлены хромосомы линий, используемых в коммерческом семеноводстве для получения F_1 , превосходят по показателям растения с добавлением 20 хромосом от одной из форм кукурузы, использованных в гибридизации. Теоретическая оценка урожайности зеленой массы кукурузно-трипсакумных гибридов в пересчёте на гектар площади составляет около 700 ц.*

FORAGE PROPERTIES OF CORN AND HAMAGRASS HYBRIDS

¹ Panikhin P.A., Junior Research Fellow

^{1,2} Sokolov V.A., Dr. of Biological Sc.

¹Institute of Molecular and Cell Biology SD RAS, Novosibirsk, Russia ²Federal Research

²Centre Russian Institute of Genetic Plant Resources named after Vavilov, St.Petersburg, Russia

Key words: hamagrass, corn, corn and tripsacum hybrids, heterosis, forage parameters, livestock analysis, sugars, starch, aminoacids.

Abstract. *Forage value and yield of green mass per unit of acreage are the key points in selection of forage crops. Corn is considered to be one of these plants. Its grain and green mass have good forage properties and are widely used when feeding cattle and poultry. Eastern hamagrass*

(Tripsacum dactyloides) is a wild corn counterpart. It is widespread on the hollows of North and South America. In recent decades, it has been recognized by livestock farmers as a pasture and forage crop. More than 10 commercial varieties are sold in the USA. Hamagrass is highly productive and nutritional for the hay obtained from it. The paper evaluates forage properties of apomictic corn-tripsacum hybrids, when two corn genomes from the lines participating in hybrid breeding for producing F1 seeds were added to 36 hamagrass chromosomes. The authors compared forage properties of the hybrids received and assessed their potential yield on green mass. The results have shown, that the hybrid samples, two corn genomes from the lines participating in hybrid breeding for producing F1 seeds were added to 36 hamagrass chromosomes, surpass the indexes of plants when 20 chromosomes from one of the forms of corn were added for hybridization. The authors' theoretical estimation of green mass yield of corn-tripsacum hybrids pro a hectare is about 700 centners.

Гамаграсс восточный (*Tripsacum dactyloides*) широко распространен в дикой природе Центральной и Северной Америки, вплоть до широты Нью-Йорка. Как и многие другие злаки, он имеет полиплоидные ряды – $2n = (2x = 36; 3x = 54; 4x = 72; 6x = 108)$, но в природе наиболее распространены диплоидные и тетраплоидные формы [1, 2]. При этом диплоиды размножаются половым путем, а полиплоиды – бесполосеменным, но для развития эндосперма требуется оплодотворение центральной клетки [3]. Виды гамаграсса очень вариабельны по габитусу, мощности развития и экологической устойчивости. Эндемические территории гамаграсса протянулись от Канады в Северной Америке до Чили в Южной Америке [4, 5]. По причине высокой адаптивности он освоил болотистые низины, лиственные леса, степи, тропические леса и полупустыни [6, 7]. Уникальное свойство произрастать в широком ареале агрохимических и климатических условий, а также высокие урожаи сена (до 13 т/га), обладающего близкой к люцерне фуражной ценностью, сделали гамаграсс весьма распространенной культурой в США. В настоящее время там возделывается более 10 коммерческих сортов этого растения [7]. Во многом благодаря его широкому использованию в животноводстве крупного рогатого скота решены многие проблемы кормопроизводства и пастбищ [8–10]. Продолжительное время гамаграсс привлекает исследователей как источник генов устойчивости для кукурузы, поскольку, являясь ее отдаленным сородичем, может гибридизоваться

с ней и передавать ценные признаки устойчивости к биотическим и абиотическим факторам [11, 12]. В лаборатории цитологии и апомиксиса растений ИМКБ СО РАН впервые в мире были получены апомиктичные гибриды кукурузы с гамаграссом [13]. 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 9 определенных хромосом дикого родителя [14]. Наличие у гибридов значительного количества генетического материала от гамаграсса сопровождается экспрессией нежелательных признаков – многостебельность, малая величина початков и др. К тому же они, как это часто бывает при отдаленных скрещиваниях, не дают пыльцы, и для получения семян требуется принудительное опыление кукурузой.

В этой связи нами был предложен иной путь гибридизации и получения перспективного селекционного материала. Поскольку гамаграсс дает высококачественный фураж, его гибриды с кукурузой могут сохранить этот признак и при этом быть более продуктивными в расчёте на единицу площади. Путем двухэтапной гибридизации мы создали апомиктичные гибриды, где к 36 хромосомам гамаграсса добавлены два генома кукурузы от линий, участвующих в получении гетерозисных F_1 форм [15].

Целью настоящего исследования являлась оценка фуражных качеств у таких гибридов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Фуражные качества исследовали у 56-хромосомных кукурузно-трипсакумных гибридов следующих геномных составов: № 646– $2n = 56 = [(10Zm \text{ линия } 611 + 10Zm \text{ линия } 573) + 36Td]$; № 647– $2n = 56 = [(20Zm \text{ линия } 573) + 36Td]$; № 648– $2n = 56 = [(10Zm \text{ линия } 573 + 10Zm \text{ линия } 611) + 36Td]$. В качестве контроля использовали тетраплоидную белозерную кукурузу с принятым названием Тетраплоид Шумного $2n = 4x = 40$ – № 649. Для исследования отбирали по 10 растений каждого образца в случайном порядке.

Гибридные растения отбирали на стадии выметывания колоса, тетраплоидную кукурузу – в стадии молочной спелости зерна. Срезанные образцы сушили 30 дней в тени, на открытом воздухе, после чего измельчали. Для каждого анализируемого образца готовили среднюю пробу по правилам отбора проб для искусственно высушенных травяных кормов¹, которую и анализировали. Исследование содержания в образцах сухого вещества и влаги², сырого протеина³, сырого жира⁴, сырой

клетчатки⁵, сырой золы⁶, сахара и крахмала⁷, аминокислот было проведено в лаборатории биохимии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН. 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 зелёной массы кукурузно-трипсакумных гибридов проводили на экспериментальном участке на полях КОС ВНИИР в пос. Ботаника Краснодарского края. Площадь учётного участка составила 745 м², на котором произрастало 420 гибридов в 20 рядах с расстоянием между рядами и растениями по 1,4 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты биохимического анализа образцов приведены в табл. 1.

Во всех четырёх образцах содержание сухого вещества примерно одинаково. Влажность выше у образца № 649, видимо, из-за наличия початка. Сравнение контроля и кукурузно-трипсакумных гибридов показывает

Таблица 1

Биохимические показатели образцов, %
Biochemical parameters of the samples, %

№ п/п	Показатель	Регистрационный номер			
		646	647	648	649
1	2	3	4	5	6
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
<i>Аминокислоты</i>					
9	Лизин	0,29	0,28	0,33	0,37
10	Лейцин	0,56	0,59	0,67	0,43

¹ ГОСТ 27262-87 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200024371>.

² ГОСТ 31640-2012 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-31640-2012>.

³ ГОСТ 32044.1-2012 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200105311>.

⁴ ГОСТ 13496.15-97 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-13496-15-97>.

⁵ ГОСТ 31675-2012 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-31675-2012>.

⁶ ГОСТ 26226-95 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://internet-law.ru/gosts/gost/9294/>.

⁷ ГОСТ 26176-91 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-26176-91>.

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
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

превосходство контроля по 10 показателям: сырой протеин, сырая зола, сырая клетчатка, крахмал и аминокислоты: лизин, метионин, цистеин, серин, глицин, аргинин, причём по пяти показателям контроль показывает абсолютное превосходство – сырой протеин, сырая зола, сырая клетчатка, крахмал и серин. Видимо, такие высокие показатели связаны с фазой уборки контроля, а именно, молочной спелостью зерна и наличием крупного

початка, тогда как кукурузно-трипсакумные гибриды (рис. 1), подвергнутые анализу, имеют скорее колос (рис. 2) и в образцах зерна не содержали.

Из сравнительного анализа образцов № 646, 647 и 648 видно, что показатели у образцов № 646 и 648 выше, чем у образца № 647, по 20 параметрам, за исключением крахмала, по которому № 647 преобладает над № 648 с разницей в 1,5 раза, а над образцом № 646 –



Рис. 1. Растение 56-хромосомного кукурузно-трипсакумного гибрида
The plant of 56 chromosome corn-tripsacum hybrid



Рис. 2. Колосья 56-хромосомного кукурузно-трипсакумного гибрида
Ears of 56 chromosome corn-tripsacum hybrid

на порядок, и некоторым аминокислотам: метионину, цистеину и триптофану. 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 в целом обладают лучшими фуражными показателями по сравнению с образцом № 647. В то же время совокупно образцы № 646 и 647 превосходят образец № 648 в части зоотехнических показателей, за исключением содержания сырой золы и крахмала, а образец № 648 превосходит образцы № 646 и 647 по большинству аминокислот.

В процессе подготовки образцы были подвергнуты длительной естественной сушке. В ходе высушивания проходят сложные физиологические и биохимические процессы, а именно, голодный обмен и автолиз.

В процессе голодного обмена одновременно с испарением воды происходит дыха-

ние еще живых клеток трав и расходуются сахара, разрушается каротин и распадается часть белков. Процесс прекращается при влажности трав 40–50%. В зависимости от продолжительности периода голодного обмена потери каротина могут достигать 50%, сахара – 20%. Потери сухого вещества в благоприятную погоду составляют 2–8%, в неблагоприятную – до 15%.

Автолиз – это процесс, при котором имеет место распад питательных веществ под влиянием ферментов и микроорганизмов. На этапе автолиза потери сухого вещества за сутки в благоприятных условиях сушки травы достигают 4%, а в неблагоприятных – 20%. Распад питательных веществ прекращается, когда влажность трав уменьшится до 17%. Общие потери сухого вещества при естественной сушке могут достигать 35–50% [16].

Одним из видов кормов, заготавливаемых путём естественной сушки, является сено. Нормативные показатели оценки питательности сена приведены в табл. 2 [17].

Таблица 2

Нормативные требования оценки качества и питательности сена сеяного злакового
Regulations for estimating the quality and nutritional value of sown hay

Показатели	Класс		
	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

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

Учёт зелёной массы кукурузно-трипсакумных гибридов проводили в конце сентября – начале октября. Общая масса зелёных

частей гибридов на учётном участке составила 5464,2 кг. В пересчёте на гектар площади при той же густоте стояния растений продуктивность составит 73220,3 кг.

ВЫВОДЫ

1. Биохимический анализ показал, что контрольный образец по некоторым показателям превосходит кукурузно-трипсакумные гибриды, но это, скорее всего, связано с тем, что он обладает крупным початком и отби-

рался в то время, когда семена были на стадии молочной спелости, тогда, как кукурузно-трипсакумные гибриды в анализируемых образцах зерна не содержали.

2. Сравнение показателей кукурузно-трипсакумных гибридов выявило превосходство в целом гибридов с комбинациями кукурузных родителей, дающих гетерозисный эффект (№ 646 и 648), над гибридом с родительской комбинацией линии 573 (№ 647).

3. Длительный период естественной сушки без плющения стеблей, скорее всего, негативным образом сказался на фуражной цен-

ности кукурузно-трипсакумных гибридов. Однако даже в таком деградированном состоянии образцы обладают достаточно высоким качеством по нормативам, предъявляемым к сену как грубому корму, а содержание сырой клетчатки и золы, оказывающих негативное влияние на пищеварение крупного рогатого скота, у образцов даже ниже нормативного.

4. Теоретическая оценка урожайности кукурузно-трипсакумных гибридов в пересчёте на гектар площади даёт выход зелёной массы более 70 т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. De Wet J. M. J., Harlan J. R., Brink D. E. Systematics of *Tripsacum dactyloides* (Gramineae) // *American Journal of Botany*. – 1982. – Vol. 69 (8). – P. 1251–1257.
2. Springer T. L., Dewald C. L. Eastern gamagrass and other tripsacum species // Moser L. E., Burson B. L., Sollenberger L. E., editors. Warm-Season (C4) Grasses. Madison, WI: American Society of Agronomy. Special Publication. – 2004. – Vol. 45. – P. 955–973.
3. Apomixis and Sexuality in Eastern Gamagrass / B. L. Burson, P. W. Voigt, R. A. Sherman [et al.] // *Crop Science*. – 1990. – Vol. 30 (1). – P. 86–89.
4. Anderson R. C. Aspects of the germination ecology and biomass production of eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides* L.) // *Botanical Gazette*. – 1985. – Vol. 146 (3). – P. 353–364.
5. Eastern Gamagrass [Электрон. ресурс] / J. S. Alderson, J. K. Allison, M. R. Brakie [et al.] – Режим доступа: <https://plants.usda.gov/8083.pdf>.
6. Eastern Gamagrass [Электрон. ресурс] / J. S. Henson, G. A. Fenchel. – Режим доступа: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/etpmcpg11215.pdf.
7. Eastern Gamagrass [Электрон. ресурс] / C. Roberts, R. Kallenbach. – Режим доступа: <https://extension2.missouri.edu/g4671>.
8. Comparative Nutritional Value of Eastern Gamagrass and Alfalfa Hay for Dairy Cows / J. L. Horner, L. J. Bush, G. D. Adams [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 1985. – Vol. 68 (10). – P. 2615–2620.
9. Unique dairy applications for eastern gamagrass in central Wisconsin: I. Yield potential / W. K. Coblenz, W. E. Jokela, P. C. Hoffman [et al.] // *Agron. J.* – 2010. – Vol. 102 (6). – P. 1710–1719.
10. Diet characteristics, digesta kinetics, and dry matter intake of steers grazing eastern gamagrass / J. C. Burns, D. S. Fiser, K. R. Pond [et al.] // *J. Anim. Sci.* – 1992. – Vol. 70 (4). – P. 1251–1261.
11. Eubanks M. W. The origin of maize: Evidence for *Tripsacum* ancestry // *Plant Breeding Reviews*. – 2000. – Vol. 20. – P. 15–66.
12. Eubanks M. W. A genetic bridge to utilize *Tripsacum* germplasm in maize improvement // *Maydica*. – 2006. – Vol. 51 (2). – P. 315–327.
13. Белоусова Н. И., Лайкова Л. И., Фокина Е. С. Апомиксис во втором и третьем поколениях гибридов кукурузы с трипсакум // *Изв. Сиб. отд-ния АН СССР*. – 1972. – № 10 (4). – С. 43–45.
14. Хромосомный контроль апомиксиса у гибридов кукурузы с гамаграссом / И. В. Белова, Т. К. Тараканова, Э. А. Абдырахманова [и др.] // *Генетика*. – 2010. – Т. 46, № 9. – С. 1188–1192.
15. The Maize–Gamagrass Hybrids (2n = 56, 20Zm + 36Td) Carrying Genomes of the Lines Used for Obtaining Heterosis F1 [Электрон. ресурс] / P. A. Panikhin, E. A. Abdyrakhmanova, C. A. Blakey [et al.] – Режим доступа: <https://mnl.maizegdb.org/88/html/06panikhin.htm>.
16. Технологии и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур / В. К. Павловский, В. В. Гракун, В. М. Бурдыко [и др.] // *Мелиорация*. – 2010. – № 2 (64). – С. 192–215.

17. Методические указания по оценке качества и питательности кормов [Электрон. ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200113892>.

REFERENCES

1. De Wet J.M.J., Harlan J.R., Brink D.E. *American Journal of Botany*, 1982, No. 8 (69), pp. 1251–1257.
2. Springer T.L., Dewald C.L. *WI: American Society of Agronomy. Special Publication*, 2004, vol. 45, pp. 955–973.
3. Burson B.L., Voigt P.W., Sherman R.A., Dewald C.L. *Crop Science*, 1990, No. 1 (30), pp. 86–89.
4. Anderson R.C. *Botanical Gazette*, 1985, No. 3 (146), pp. 353–364.
5. Eastern Gamagrass: J.S. Alderson, J.K. Allison, M.R. Brakie, S.B. Bruckerhoff – URL: <https://plants.usda.gov/8083.pdf>.
6. Eastern Gamagrass: J.S. Henson, G.A. Fenchel – URL: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_PLANTMATERIALS/publications/etpmcpg11215.pdf.
7. Eastern Gamagrass: C. Roberts, R. Kallenbach – URL: <https://extension2.missouri.edu/g4671>.
8. Horner J.L., Bush L.J., Adams G.D., Taliaferro C.M. *Journal of Dairy Science*, 1985, No. 10 (68), pp. 2615–2620.
9. Coblenz W.K., Jokela W.E., Hoffman P.C., Bertram M.G. *Agron. J.*, 2010, No. 6 (102), pp. 1710–1719.
10. Burns J.C., Fiser D.S., Pond K.R., Timothy D.H. *J. Anim. Sci.*, 1992, No. 4 (70), pp. 1251–1261.
11. Eubanks M.W. *Plant Breeding Reviews*, 2000, No. 20, pp. 15–66.
12. Eubanks M.W. *Maydica*, 2006, No. 2 (51), pp. 315–327.
13. Belousova N.I., Laikova L.I., Fokina E.S. *Izv. Sib. otd-nya. AN SSSR*, 1972, No. 10 (4), pp. 43–45. (In Russ.)
14. Belova I.V., Tarakanova T.K., Abdyrakhmanova E.A., Sokolov V.A., Panikhin P.A. *Genetika*, 2010, No. 9 (46), pp. 1188–1192. (In Russ.)
15. The Maize–Gamagrass Hybrids ($2n = 56, 20Zm + 36Td$) Carrying Genomes of the Lines Used for Obtaining Heterosis F1: P.A. Panikhin, E.A. Abdyrakhmanova, C.A. Blakey, V.A. Sokolov – URL: <https://mnl.maizegdb.org/88/html/06panikhin.htm>.
16. Pavlovskii V.K., Grakun V.V., Burdyko V.M., Burduk P.I., Privalov F.I., Vas'ko P.P., Abraskova S.V., Samosyuk V.G., Chebotarev V.P., Labotskii I.M., Vakhonin N.K., Meerovskii A.S., Biryukovich A.L. *Melioratsiya*, 2010, No. 2 (64), pp. 192–215. (In Russ.)
17. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200113892>.