

ОЦЕНКА ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ ПО БИОХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Зайцев С.А., Волков Д.Д., Лёвкина А.Ю.,
Башинская О.С., Бабушкин Д.Д., Бычкова В.В.**

*ФГБНУ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт
сорго и кукурузы «Россорго», Саратов, e-mail: zea_mays@mail.ru*

Совместно с экологическими подходами интенсификации растениеводства необходимо учитывать ресурсные и биоэнергетические аспекты селекции и возделывания кукурузы. Энергосберегающие гибриды кукурузы, обладающие устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам, оптимальным индексом урожая, расположением листьев, сочетающие в себе пригодность к конструированию агрофитоценозов с высокой производительностью и длительной активностью фотосинтетической поверхности, являются основой биоэнергетического направления в селекции. Проведена сравнительная оценка биоэнергетической эффективности производства зерна гибридов кукурузы, созданных в селекцентрах – участниках Координационного совета по селекции и семеноводству кукурузы и включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ. Отмечены селекционные достижения, формирующие высокий выход валовой энергии с зерном: Неон 147 МВ (78,4 ГДж/га), Байкал (71,9 ГДж/га), Машук 171 МВ (73,3 ГДж/га), Машук 175 МВ (72,6 ГДж/га), Катерина СВ (70,8 ГДж/га) – и сырого протеина: Неон 147 МВ (409,5–589,7 кг/га), РНИИСК–1 (418,0–452,3 кг/га), Байкал (437,6–516,0/га), Машук 170 МВ (386,2–512,4 кг/га), Машук 175 МВ (405–485,9 кг/га). Ранжирование материала по средней урожайности зерна позволило выделить формы с наибольшей урожайностью зерна: Неон 147 МВ (4,93 т/га), РНИИСК-1 (4,29 т/га), Байкал (4,51 т/га), Машук 171 МВ (4,64 т/га), Машук 175 МВ (4,57 т/га), Катерина (4,49 т/га). Оценка гибридов по селекционному индексу позволяет выделить наиболее эффективные формы, формирующие максимальную урожайность зерна при наименьших затратах на досушку: Неон 147 МВ (2,5), РНИИСК 1 (2,4), Байкал (2,5), Машук 171 МВ (2,4).

Ключевые слова: кукуруза, гибрид, урожайность, протеин, жир, валовая энергия

EVALUATION OF CORN HYBRIDS ON BIOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOENERGY EFFICIENCY

**Zaytsev S.A., Volkov D.D., Levkina A.Yu.,
Bashinskaya O.S., Babushkin D.D., Bychkova V.V.**

Russian Research Institute for Sorghum and Maize “Rossorgo”, Saratov, e-mail: zea_mays@mail.ru

Together with ecological approaches to the intensification of crop production, it is necessary to take into account the resource and bioenergy aspects of corn breeding and cultivation. The bioenergetic direction of breeding involves the creation of energy-saving and energy-efficient varieties and hybrids of plants suitable for the design of agrophytocoenoses with high productivity and long-term activity of the photosynthetic surface, resistant to biotic and abiotic stressors, optimal yield index, leaf arrangement. A comparative assessment of the bioenergetic efficiency of grain production of corn hybrids created in the breeding centers participating in the Coordinating Council for Breeding and Seed Production of corn and included in the State Register of Breeding Achievements approved for use in the Russian Federation was carried out. Corn hybrids with a relatively high gross energy harvest were identified: Neon 147 MV (78,4 GJ/ha), Baikal (71,9 GJ/ha), Mashuk 171 MV (73,3 GJ/ha), Mashuk 175 MV (72,6 GJ/ha), Katerina SV (70,8 GJ/ha) and crude protein: Neon 147 MV (409,5–589,7 kg/ha), RNIISK–1 (418,0–452,3 kg/ha), Baikal (437,6–516,0/ha), Mashuk 170 MV (386,2–512,4 kg/ha), Mashuk 175 MV (405,0–485,9 kg/ha). Ranking the material according to the average grain yield made it possible to identify forms with the highest grain yield: Neon 147 MV (4,93 t/ha), RNIISK-1 (4,29 t/ha), Baikal (4,51 t/ha), Mashuk 171 MV (4,64 t/ha), Mashuk 175 MV (4,57 t/ha), Katerina (4,49 t/ha). Evaluation of hybrids by the selection index makes it possible to identify the most effective forms that form the maximum grain yield at the lowest cost of drying: Neon 147 MV (2,5), RNIISK 1 (2,4), Baikal (2,5), Mashuk 171 MV (2,4).

Keywords: corn, hybrid, yield, protein, fat, gross energy

Устойчивое развитие отрасли растениеводства, кормопроизводства и животноводства – одно из направлений государственной политики для обеспечения продовольственной безопасности. Данное развитие невозможно без решения одной из важнейших задач АПК – увеличения производства кормов, улучшения их качества и энергонасыщенности [1]. Совместно с экологическими

подходами интенсификации растениеводства необходимо учитывать ресурсные и биоэнергетические аспекты селекции и возделывания кукурузы [2]. Вещество, синтезируемое растениями, находится в основании пищевой пирамиды природы и человека. При этом наибольшая продуктивность зеленой массы и зерна формируется у растений с типом фотосин-

теза С₄ (кукуруза) [3]. С учетом того, что до 70% сельскохозяйственных площадей используется для производства кормов для обеспечения требований животноводства, исключительную роль играет повышение биоэнергетической эффективности выращивания сельскохозяйственной продукции. В современных реалиях организации аграрного производства наряду с экономической оценкой уделяют большое внимание биоэнергетическим параметрам оценки эффективности возделывания полевых культур [4]. Энергосберегающие гибриды кукурузы, обладающие устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам, оптимальным индексом урожая, расположением листьев, сочетающие в себе пригодность к конструированию агрофитоценозов с высокой производительностью и длительной активностью фотосинтетической поверхности, являются основой биоэнергетического направления в селекции [5]. Подбор адаптированных гибридов определяется зависимостью урожайности и биохимического состава зерна кукурузы. Потенциал современных селекционных достижений может быть максимально освоен при использовании районированных гибридов, адаптированных к определенным регионам [6]. Значения показателей биоэнергетической эффективности возделывания служат критерием отбора гибридов кукурузы для использования в производстве. Количественные параметры энергетической эффективности, связанные с оценкой соотношения количества энергии, накопленной растениями, с затратами антропогенной энергии, позволяют выделить наиболее энергоресурсосберегающие варианты (сорт, гибрид) [7].

Цель работы – провести сравнительную оценку биоэнергетической эффективности производства зерна различных гибридов кукурузы в умеренно засушливых условиях Саратовской области.

Материалы и методы исследования

Эксперимент закладывался на селекционном участке ФГБНУ РосНИИСК «Россорго». Климат региона характеризуется как резко континентальный. Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый. В пахотном слое содержание гумуса (по Тюрину) составляет 3,80–4,60%, общего азота – 0,17–0,22%, валового фосфора – 0,11–0,14%, калия – 1,10–1,38%. Плотность

почвы составляет 1,20–1,32 г/см³, наименьшая влагоемкость (НВ) слоя 0–30 см – 101,1 мм, слоя 0–100 см – 295,6 мм. В эксперимент включены 15 гибридов, созданных в селекцентрах – участниках Координационного совета по селекции и семеноводству кукурузы и включенных в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ. Повторность – трехкратная. Учетная площадь делянки 7,7 м²; длина делянки 5,5 м. Густота стояния растений – 45 тыс. растений/га. Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГНУ РосНИИСК «Россорго». Учеты, наблюдения, математическую обработку проводили по соответствующим методикам [8–10]. Селекционный индекс определяли по методике В.С. Соченко как результат деления урожайности гибрида на уборочную влажность зерна [11]. Показатели качества зерна определяли согласно принятым методикам: сырой протеин – ГОСТ 10846-91 (прибор Kjeltec 2100); сырой жир – ГОСТ 1349615-97; сырая зола – ГОСТ 26226-95; клетчатка – ГОСТ 13946.2-91; БЭВ – расчетным способом. Выход общей валовой энергии с зерном по биохимическому составу проводили в соответствии с содержанием в 1 г питательных веществ (протеин – 23,597 кДж, жир – 39,649 кДж, клетчатка – 17,585 кДж, БЭВ – 16,957 кДж) [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка гибридов по хозяйственно важным признакам позволила выявить параметры статистической обработки данных (табл. 1). Анализируя коэффициенты асимметрии и эксцесса по урожайности зерна, содержания в зерне питательных веществ, следует сделать вывод о нормальном распределении в выборке, что позволяет оптимально отобрать гибрид исходя из полученных фактических результатов. Варьирование урожайности зерна по годам наблюдалось в следующих пределах: 2017 г. – 3,08–5,38 т/га, 2018 г. – 2,40–5,33 т/га, 2019 г. – 2,32–5,66 т/га. Ранжирование материала по средней урожайности зерна позволило выделить формы с наибольшей урожайностью зерна: Неон 147 МВ (4,93 т/га), РНИИСК-1 (4,29 т/га), Байкал (4,51 т/га), Машук 171 МВ (4,64 т/га), Машук 175 МВ (4,57 т/га), Катерина (4,49 т/га). Диапазон значений уборочной влажности зерна составил: в 2017 г. – 17,1–29,1%, в 2018 г. – 13,5–16,7%, в 2019 г. – 14,5–20,2%. Отно-

сительно малое количество влаги в зерне перед уборкой (менее 19%) зафиксировано у следующих форм: Кубанский 101 СВ (18,7%), РНИИСК-1 (18,0%), Нур (17,8%), Биляр (18,9%), Байкал (18,1%), Машук 170 МВ (18,8%). Таким образом, чтобы довести зерно данных селекционных достижений до кондиционной влажности, потребуется наименьшее количество энергетических и материальных затрат.

Наряду с уровнем продуктивности в процессе селекционной работы определяется селекционный индекс [10], который рассчитывается по формуле $S_i = U/V$, где S_i – селекционный индекс, U – урожайность зерна при 14% влажности (ц/га), V – влажность зерна при уборке (%). Оценка гибридов по селекционному индексу позволяет выделить наиболее эффективные формы, формирующие максимальную урожайность зерна при наименьших затратах на досушку:

Неон 147 МВ (2,5), РНИИСК-1 (2,4), Байкал (2,5), Машук 171 МВ (2,4).

В структуре биоэнергетического направления селекции важная роль отводится определению биохимического состава семян, так как энергетическая ценность питательных веществ сильно различается. Оценка биохимического состава позволила определить степень вариации и параметры статистической обработки данных (табл. 2). Коэффициенты вариации указывают на низкое различие между гибридами по содержанию в зерне протеина, жира, золы, БЭВ. Средняя степень коэффициента вариации выявлена по содержанию клетчатки. Отмечены средние значения и диапазоны колебания показателей биохимического состава в зерне: протеин – 8,83–10,40% (9,68%), жир – 3,98–5,43% (4,70%), клетчатка – 1,75–3,04% (2,48%), зола – 1,11–1,45% (1,22%), БЭВ – 80,51–83,28% (81,92%) (рис. 1).

Таблица 1

Урожайность и уборочная влажность зерна гибридов кукурузы, среднее за 2017–2019 гг.

Гибрид	Урожайность, т/га (при 14,0% влажности)	Уборочная влажность зерна, %	Селекционный индекс
Кубанский 101 СВ	2,92	18,7	1,6
Росс 140 СВ	3,83	19,9	1,9
ЮВ 100-39	3,78	17,5	2,2
Неон 147 МВ	4,93	19,5	2,5
РНИИСК-1	4,29	18,0	2,4
Машук 150 МВ	3,21	19,2	1,7
Нур	4,03	17,8	2,3
Уральский 150	3,63	19,6	1,9
Ладожский 150 МВ	4,33	19,2	2,3
Биляр	4,23	18,9	2,2
Байкал	4,51	18,1	2,5
Машук 170 МВ	4,25	18,8	2,3
Машук 171 МВ	4,64	19,6	2,4
Машук 175 МВ	4,57	20,8	2,2
Катерина СВ	4,49	20,0	2,3
Средняя ± ошибка	4,11 ± 0,14	19,0 ± 0,24	
min-max	2,92–4,93	17,5–20,8	
Коэффициент вариации, %	13,4	4,8	
Коэффициент асимметрии ± ошибка	-0,811 ns ± 0,577	-0,015 ns ± 0,577	
Коэффициент эксцесса ± ошибка	0,260 ns ± 1,095	-0,444 ns ± 1,095	
F	2,17*	–	
НСР _{0,05}	0,90	–	

Таблица 2

Параметры статистической оценки содержания питательных веществ, среднее за 2017–2019 гг.

Параметр	Протеин	Жир	Клетчатка	Зола	БЭВ
Средняя ±ошибка	9,7	4,70	2,48	1,22	81,93
min-max	8,83–10,48	3,98–5,43	1,75–3,04	1,11–1,45	80,51–83,28
Коэффициент вариации, %	4,8	8,5	16,5	9,4	1,1
Коэффициент асимметрии ± ошибка	-0,183 ns ± 0,577	0,295 ns ± 0,577	-0,424 ns ± 0,577	0,948 ns ± 0,577	-0,112 ns ± 0,577
Коэффициент эксцесса ± ошибка	-0,664 ns ± 1,095	0,059 ns ± 1,095	-0,779 ns ± 1,095	-0,194 ns ± 1,095	-0,955 ns ± 1,095
F	2,79*	4,53*	2,61*	3,27*	1,90
НСР _{0,05}	0,84	0,56	0,76	0,19	-

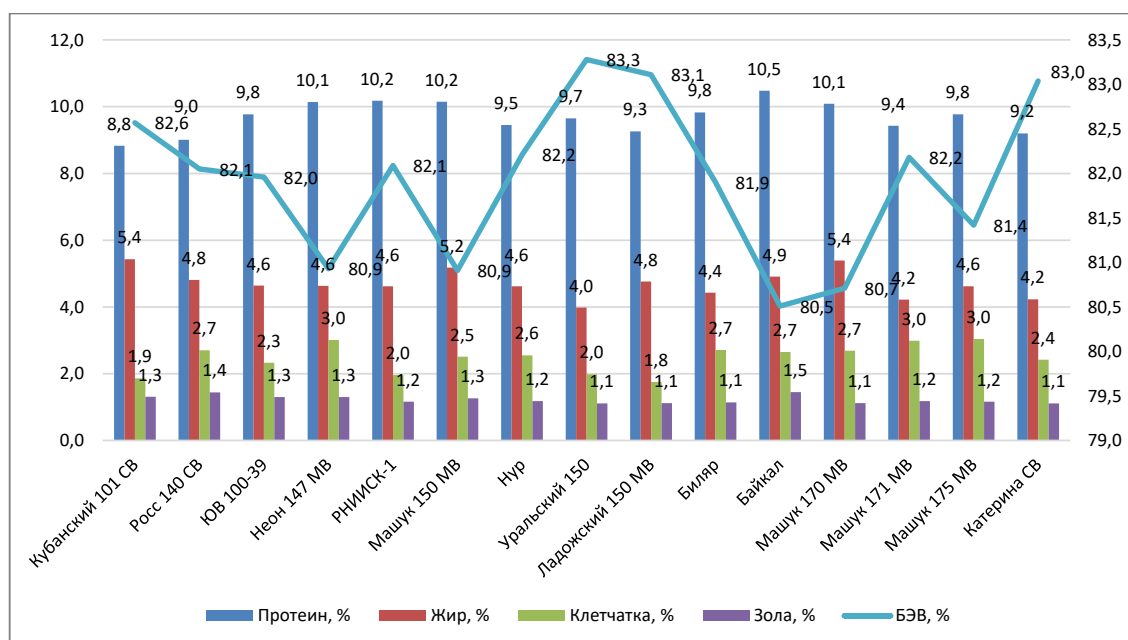


Рис. 1. Биохимический состав зерна гибридов кукурузы, среднее 2017–2019 гг.

Анализ результатов указывает на то, что основной вклад (82,0%) в урожайности питательных веществ состоит из сбора безазотисто-экстрактивных веществ (табл. 3). Роль остальных биохимических веществ в урожае зерна кукурузы в среднем составила: протеина – 9,7%, жира – 4,7%, клетчатки – 2,5%, золы – 1,2%. Параметры валового сбора питательных веществ с зерном в среднем колебались в следующих границах: протеина – 221,6–429,9 кг/га, жира – 124,2–197,3 кг/га, клетчатки – 46,7–

127,6 кг/га, золы – 32,9–56,3 кг/га, БЭВ – 2072,5–3431,4 кг/га. В 2017–2019 гг. высоким урожаем протеина характеризовались следующие гибриды: Неон 147 МВ (429,9 кг/га), РНИИСК-1 (375,6 кг/га), Байкал (406,6 кг/га), Машук 170 МВ (369,3 кг/га), Машук 175 МВ (384,0 кг/га). Лучшие параметры выхода жира сформировались у гибридов Неон 147 МВ (196,3 кг/га), Байкал (190,5 кг/га), Машук 170 МВ (197,3 кг/га), Машук 175 МВ (181,6 кг/га), РНИИСК 1 (170,5 кг/га).

Таблица 3

Выход питательных веществ с зерном гибридов кукурузы, ГДж/га

Гибрид	Урожайность а.с.в., т/га	Валовый сбор, кг/га				
		Протеин	Жир	Клетчатка	Зола	БЭВ
Кубанский 101 СВ	2,51	221,6	136,3	46,7	32,9	2072,5
Росс 140 СВ	3,30	297,3	158,7	89,1	47,5	2707,7
ЮВ 100-39	3,25	317,5	150,8	75,7	42,3	2663,7
Неон 147 МВ	4,24	429,9	196,3	127,6	55,1	3431,4
РНИИСК-1	3,69	375,6	170,5	72,3	42,8	3029,1
Машук 150 МВ	2,76	280,1	143,0	69,3	34,8	2233,1
Нур	3,46	327,0	159,9	88,2	40,8	2844,5
Уральский 150	3,12	301,1	124,2	61,8	34,6	2598,3
Ладожский 150 МВ	3,72	344,5	177,1	65,1	41,7	3091,7
Биляр	3,64	357,8	161,3	98,6	41,5	2981,2
Байкал	3,88	406,6	190,5	102,8	56,3	3123,8
Машук 170 МВ	3,66	369,3	197,3	98,5	41,0	2954,0
Машук 171 МВ	3,99	376,3	168,4	119,3	47,1	3279,0
Машук 175 МВ	3,93	384,0	181,6	119,5	45,6	3199,8
Катерина СВ	3,86	355,1	163,3	93,4	42,8	3205,3
Среднее	3,53	342,9	165,3	88,5	43,1	2894,3

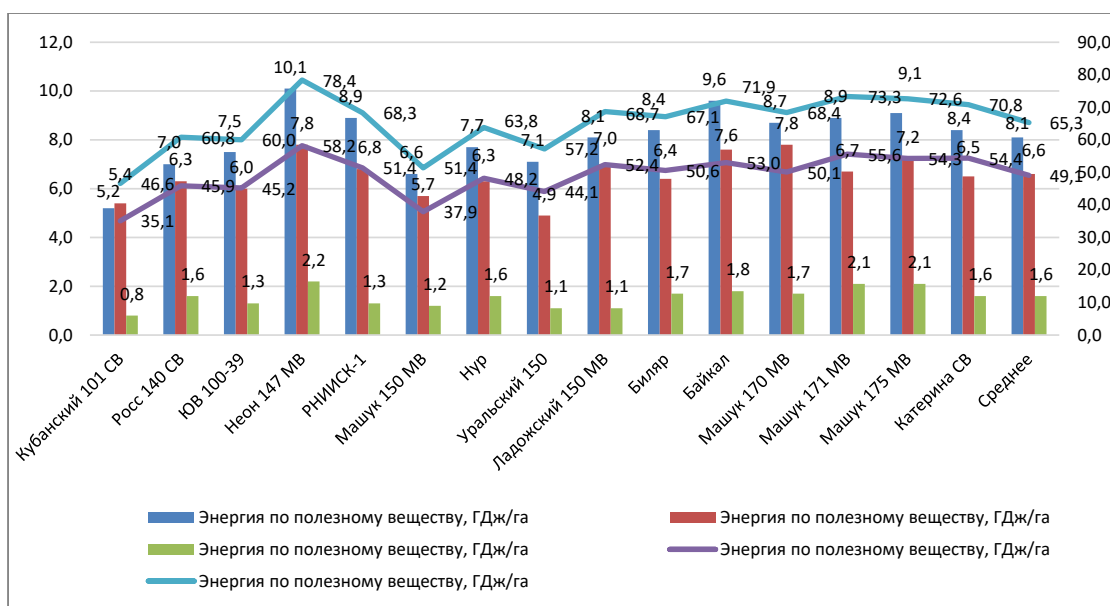


Рис. 2. Выход валовой энергии по полезному веществу гибридов кукурузы, ГДж/га

Скрининг изучаемого материала по биохимическому составу зерна позволяет исследователю определить общий выход валовой энергии с зерном (табл. 2). Выход валовой энергии (в среднем за 2017–2019 гг.) варьирует от 46,6 ГДж/га до 78,4 ГДж/га. При таком подходе, наибольшую долю в энергетической ценности занимает коли-

чество безазотистых экстрактивных веществ: 35,1–58,2 ГДж/га. Доля количества протеина составляет 5,2–10,1 ГДж/га, жира 5,4–7,8 ГДж/га, клетчатки 0,8–2,2 ГДж/га. Наибольшим выходом валовой энергии (более 70,0 ГДж/га) с урожаем зерна отличились гибрид: Неон 147 МВ, Байкал, Машук 171 МВ, Машук 175 МВ, Катерина СВ (рис. 2).

Таблица 4

Оценка энергетической эффективности производства зерна кукурузы
в условиях Саратовской области, среднее за 2016–2019 гг.

Гибрид	Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Коэффициент энергетической эффективности, q_i	Приращение валовой энергии, ГДж/га	Выход зерна в расчете – на 1 ГДж затрат энергии, т	Удельная энергоёмкость производства, ГДж/т
Кубанский 101 СВ	28,7	1,62	17,9	0,09	11,4
Росс 140 СВ	29,4	2,07	31,4	0,11	8,9
ЮВ 100-39	29,0	2,07	31,0	0,11	8,9
Неон 147 МВ	30,0	2,61	48,4	0,14	7,1
РНИИСК-1	29,4	2,32	38,9	0,13	8,0
Машук 150 МВ	28,9	1,78	22,5	0,10	10,5
Нур	29,2	2,18	34,6	0,12	8,4
Уральский 150	29,2	1,96	28,0	0,11	9,4
Ладожский 150 МВ	29,6	2,32	39,1	0,13	8,0
Биляр	29,5	2,27	37,6	0,12	8,1
Байкал	29,5	2,44	42,4	0,13	7,6
Машук 170 МВ	29,5	2,32	38,9	0,12	8,1
Машук 171 МВ	29,8	2,46	43,5	0,13	7,5
Машук 175 МВ	29,9	2,43	42,7	0,13	7,6
Катерина СВ	29,8	2,38	41,0	0,13	7,7
Среднее	29,4	2,22	35,9	0,12	8,5

При одинаковых способах выращивания затраты совокупной энергии на единицу площади у гибридов кукурузы колеблются в небольших пределах. Эти вариации в основном формируются разницей в энергозатратах на уборку и первичную доработку зерна, что зависит от урожайности и влажности зерна перед уборкой. Анализ параметров энергетической оценки производства зерна указывает на гибриды с лучшими оценками параметров энергетической эффективности: Неон 147 МВ ($q_i = 2,61$), Байкал ($q_i = 2,44$), Машук 171 МВ ($q_i = 2,46$), Машук 175 МВ ($q_i = 2,43$). Данные формы характеризовались и более низкими затратами энергии на производство 1 т зерна – 7,1–7,6 ГДж/т при 8,5 ГДж/т в среднем по гибридам (табл. 4). При этом коэффициент энергетической эффективности у гибридов, принятых в качестве стандартов в экологических сортоиспытаниях в селекцентрах – участниках Координационного совета оказался ниже: Росс 140 СВ ($q_i = 2,07$), Машук 150 МВ ($q_i = 1,78$), Катерина СВ ($q_i = 2,38$).

Заключение

Результаты эксперимента позволили выделить гибриды с максимально высо-

ким сбором валовой энергии: Неон 147 МВ (78,4 ГДж/га), Байкал (71,9 ГДж/га), Машук 171 МВ (73,3 ГДж/га), Машук 175 МВ (72,6 ГДж/га), Катерина СВ (70,8 ГДж/га) и сырого протеина: Неон 147 МВ (409,5–589,7 кг/га), РНИИСК-1 (418,0–452,3 кг/га), Байкал (437,6–516,0/га), Машук 170 МВ (386,2–512,4 кг/га), Машук 175 МВ (405–485,9 кг/га). Отмечены гибриды с максимальным выходом зерна (0,12 т) при затрате 1 ГДж энергии: Неон 147 МВ, Байкал, Машук 171 МВ, Машук 175 МВ. Повышение биоэнергетической эффективности при производстве зерна возможно при увеличении в посевных площадях доли раннеспелых форм, формирующих малое количество влаги в зерне перед уборкой, что обеспечивает сокращение материальных затрат на послеуборочную доработку продукции. Селекцию новых гибридов кукурузы следует направить на увеличение в зерне протеина, а также на снижение содержания клетчатки. Повышение урожайности и качества зерна, при одновременном снижении уборочной влажности является основой биоэнергетического направления селекции и создания энергосберегающих и энергетически эффективных сортов и гибридов кукурузы.

Список литературы

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2020. 23 с.

2. Жученко А.А. Биологизация, экологизация, энергосбережение, экономика современных систем земледелия // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № S2. С. 9–13.

3. Жученко А.А. Эколого-генетические принципы мобилизации мировых генетических ресурсов высших растений // Образование, наука и производство. 2014. № 2 (7). С. 8–17.

4. Косолапов В.М., Чернявских В.И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» в их решении // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 5–14.

5. Великанова Л.О., Сисо А.В. Биоэнергетическая оценка альтернативных технологий возделывания кукурузы на зерно и озимой пшеницы в низменно-западных агроландшафтах центральной зоны Краснодарского края // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 87 (03). С. 528–536.

6. Зайцев С.А., Жужукин В.И., Гудова Л.А., Волков Д.П., Гусева С.А., Носко О.С. Экологический подход в адаптиро-

ванной системе селекции среднепоздних гибридов кукурузы (ФАО 300–399) в Нижнем Поволжье // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 19–24.

7. Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Шевченко Н.А. Продуктивность, кормовая ценность и биоэнергетическая эффективность возделывания гибридов кукурузы на зеленый корм и силос // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4 (20). С. 63–69.

8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по Требованию, 2013. 349 с.

9. Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с.

11. Сотченко В.С. Оптимизация семеноводства гибридной кукурузы с использованием селекционных индексов // Кукуруза и сорго. 2017. № 3. С. 3–9.

12. Петухова Е.А., Бессарабова Р.Ф., Халенева Л.Д., Антонова О.А. Зоотехнический анализ кормов. М.: Агропромиздат, 1989. 239 с.