

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЩЕСТВЕННЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ ЭТАЛОННОГО ОБРАЗЦА СОРГО ЗЕРНОВОГО

В. Ф. Хлыстунов^{1,2}, доктор технических наук, ученый секретарь по механизации и электрификации; профессор кафедры технологии и оборудования переработки продукции АПК, vniptim@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8476-9663

В. В. Ковтунов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705
¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;
²ВГОУ ВО Донской государственной технической университет,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 2; e-mail: donstu.ru

Выбор по результатам селекции перспективных сортов сорго зернового осложнен тем, что необходимо учесть 49 присущих ему признаков (идентификаторов). Эта многокритериальная задача сравнения в настоящее время не имеет ни теоретического, ни однозначного практического решения, что и обусловило актуальность данного исследования. Цель исследования – определить существенные признаки (идентификаторы) и их научно обоснованную балльную оценку эталонного образца сорго зернового на основе метода экспертных оценок. По результатам проведения экспертной оценки с привлечением ведущих специалистов по селекции сорго зернового выполнили ранговую оценку 26 признаков из 49, предусмотренных действующим международным классификатором, которые можно количественно оцифровать и которые отражают биологические свойства, морфологические дескрипторы сорта, его урожайность, устойчивость к болезням, химический состав и др. После процедуры ранжирования, оценки репрезентативности выборки, согласованности мнений экспертов и неслучайности их согласованности, используя оригинальную авторскую программу для ЭВМ, по интегральной функции накопленных частот каждого ранжированного признака осуществили структурирование совокупности статистического материала (ранговой оценки). В результате выделили 13 существенных (наиболее значимых) оценочных признаков сорго зернового, составивших 64,1 % по ранговой и 50 % по количественной значимости. Для них установили шкалу оценочных показателей исходя из их ранговой значимости по 100-балльной шкале для эталонного образца сорго зернового (сорт Зерноградское 88 селекции «АНЦ «Донской»). По данным определения весомости соответствующих признаков в натуральном выражении сравниваемых и эталонного образцов, а также их балльной оценки у эталона, определили балльную оценку соответствующего признака у сравниваемых образцов и комплексных показателей оценки. Комплексный показатель для сравниваемых образцов сортов Атаман и Есаул селекции «АНЦ «Донской» рассчитали в соответствии со взвешенной долей каждого индекса относительно эталонного. Их количественная комплексная оценка составила 111,43 и 101,93 балла соответственно. Таким образом, эти сорта превышают эталон по комплексу признаков соответственно на 111,43 и 101,93 %.

Ключевые слова: сорго зерновое, ранговая оценка, селекция, сорт, эксперт, балл, признак, структуризация.

Для цитирования: Хлыстунов В. Ф., Ковтунов В. В. Результаты определения существенных селекционных признаков эталонного образца сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 5. С. 13–20. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-13-20.



RESULTS OF DETERMINING ESSENTIAL BREEDING TRAITS OF A STANDARD GRAIN SORGHUM SAMPLE

V. F. Khlystunov^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, scientific secretary for mechanization and electrification; professor of the department of technologies and equipment for processing of AIC products; vniptim@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8476-9663

V. V. Kovtunov¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for grain sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705
¹FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru
²FSBEI HE “Donskoy State Technical University”
344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 2

The selection of promising grain sorghum varieties according to the breeding results is complicated by the fact that it is necessary to take into account 49 characteristics (identifiers). This essentially multi-criteria comparison problem currently has neither a theoretical nor an unambiguous practical solution, which determines the relevance of the current study. The purpose of the study was to identify the essential characteristics (identifiers) and their scientifically based scoring of a standard grain sorghum sample based on the method of expert estimations. Based on the results of the expert estimation including leading specialists in grain sorghum breeding, there have been ranked 26 traits out of 49, provided for by the current international classifier, which can be quantitatively digitized and which also reflect biological properties, morphological descriptors of the variety, its productivity, resistance to diseases, chemical composition, etc. After conducting a ranking procedure, estimation of the representativeness of the selection, the con-

sistency of expert opinions and the non-accidentality of their agreement, there was carried out a structuring of the totality of statistical material (rank estimation) according to the integral function of the accumulated frequencies of each ranked feature's appearance using the original author's computer program. As a result, there have been identified 13 significant (most significant) estimation traits of grain sorghum, amounting to 64.1 % in terms of ranking and 50 % in terms of quantitative significance. There was set up an estimation scale for them, based on their rank significance on a 100-point scale for the standard grain sorghum sample ("Zernogradskoe 88" developed by the "ARC "Donskoy"). Based on the data of determining the significance of the corresponding traits in physical terms of the compared and standard samples, as well as its score rating for the standard, there was established a point rating of the corresponding traits for the compared samples and complex estimation indicators as their sum. The complex indicator for the compared samples of the varieties 'Ataman' and 'Esaul' developed by the "ARC "Donskoy" was calculated in accordance with the share of each index relative to the standard one. Their quantitative comprehensive estimation was 111.43 and 101.93 points, respectively. Thus, these varieties exceeded the standard for a set of traits by 111.43 and 101.93 %, respectively.

Keywords: grain sorghum, ranking estimation, breeding, variety, expert, score, trait, structuring.

Введение. Изменение погодных-климатических условий, а именно снижение количества осадков в весенне-летний период в южных регионах Российской Федерации (Попов и др., 2012), является одним из значимых факторов, без учета, которого невозможно эффективно осуществлять сельскохозяйственное производство.

Сорго является одной из наиболее важных сельскохозяйственных культур прежде всего из-за высокой устойчивости к высоким температурам и засухе (Gitz III et al., 2019). Оно возделывается в 86 странах и по посевной площади занимает пятое место в мире после пшеницы, риса, кукурузы и ячменя (Fantaye, 2018; Boyles et al., 2019; Kovtunov et al., 2021).

Несмотря на ценные биологические особенности, в России сорго занимает незначительные посевные площади. Согласно данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (URL: <https://www.fedstart.ru>) в последние годы (2012–2021 гг.) площадь посева сорго в России не превышает 228,7 тыс. га, а в отдельные годы снижается до 54,7 тыс. га. В зонах недостаточного увлажнения Российской Федерации сорго должно стать основной культурой, повышающей продуктивность севооборотов.

Недостаточное распространение данной культуры в нашей стране, наряду с другими причинами, обусловлено дефицитом раннеспелых высокоурожайных сортов и гибридов с высоким качеством зерна и адаптированных к почвенно-климатическим условиям зоны выращивания.

Давно известно, что выбор перспективной селекционной линии любой сельскохозяйственной культуры, в том числе и сорго зернового, связан с необходимостью ее оценки по множеству качественных и количественных признаков (критериев, идентификаторов), а их у этой культуры 49. Поэтому выбор наилучшей линии представляет, по сути, многокритериальную задачу сравнения, которая, в отличие от многокритериальных задач оптимизации процессов и явлений, для которых разработано (Подинская и Подиновский, 2014; Кротченко и др., 2017; Тертерян и Бровка, 2022) достаточное количество способов, методов и программного обеспечения, до последнего

времени не имеет ни теоретического, ни экспериментального решения. В работе Khlystunov et al. (2023) предложена методика комплексной оценки результатов селекции на примере озимого ячменя, основанная на учете весомости каждого из существенных признаков и его отклонения от соответствующего признака эталонного образца по результатам их экспертной оценки. В настоящей работе приведены результаты диверсификации этой методики применительно к культуре сорго зернового.

Цель исследования – определить существенные признаки (идентификаторы) и их научно обоснованную балльную оценку эталонного образца сорго зернового на основе метода экспертных оценок.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в «АНЦ «Донской» Ростовской области.

Объект исследования – процесс многокритериальной оценки результатов селекционной работы по созданию новых сортов сорго зернового.

Предмет исследования – статистический массив ранговой оценки совокупности признаков возделывания сорго зернового.

При определении оценочной шкалы эталонного сорта сорго зернового (Зерноградское 88) использовали элементы методики комплексной оценки результатов селекции сельскохозяйственных растений на примере озимого ячменя (Khlystunov et al., 2023).

При этом в соответствии с Широким унифицированным классификатором СЭВ видов рода SORGHUM MOENCH (1982) из 49 возможных признаков для дальнейшей экспертной оценки оставили то их количество (26), которое можно оцифровать. После их рандомизации провели анкетирование ведущих специалистов-селекционеров (эксперты: доктор сельскохозяйственных наук из ФГБНУ «АНЦ «Донской», а также кандидаты сельскохозяйственных наук из ФГБНУ РосНИИСХ «Россорго», Поволжского НИИСС филиала СамНЦ РАН, Башкирского НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН, Института «Агротехнологическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», ФНЦ агроэкологии РАН) в направлении сорго зернового, оценили репрезентативность вы-

борки по количеству разосланных анкет (8) и полученных обратно (6). Проверили результаты ранговой оценки признаков на сходимость мнения экспертов по критерию Кендалла и неслучайность их сходимости по критерию Пирсона. После проведения процедуры структуризации статистического массива ранговой оценки для дальнейшего рассмотрения оставили наиболее значимые признаки, которых оказалось 13.

В конечном счете в соответствии с Khlystunov et al. (2023) определили взвешенную долю ранговой оценки каждого признака к сумме ранговой оценки всех признаков и выраженную в процентах, которая трансформирована в баллы из расчета 100-балльной шкалы на все признаки для эталонного образца.

Расчет соответствующего значения признака для сравниваемого образца рассчитали через оценку в баллах для эталонного образца и отношение его значений в оцифрованном виде у сравниваемого и эталонного образцов.

Результаты и их обсуждение. По данным ранговой оценки шестью экспертами (табл. 1) 26 идентификаторов оценки результатов селекции сорго зернового определили репрезентативность выборки числа экспертов, проверили

согласованность их мнения и неслучайность их согласованности.

Репрезентативность выборки числа экспертов в случае, если объем выборки сопоставим с объемом генеральной совокупности, определили по формуле:

$$n_{PB} = \frac{Z^2 Pq\Delta^{-2}}{1 + \frac{Z^2 Pq\Delta^{-2} - 1}{N_{2b}}}, \quad (1)$$

где Z – нормированное отклонение при принятой доверительной вероятности, численно равное 1,96; P – доверительная вероятность, численно равная 0,95; Δ – допустимая ошибка, численно равная 0,1; N_{2b} – объем генеральной выборки (число разосланных опросных анкет), численно равный 8; q – уровень значимости, определяемый как

$$q = 1 - P. \quad (2)$$

С учетом принятых значений и формулы (2) расчетное значение репрезентативного числа экспертов составило 5,78. После округления получили 6.

Таблица 1. Данные идентификаторов оценки результатов селекции сорго зернового
Table 1. Data of estimation identifiers of the results of grain sorghum breeding

№ п/п в анкете	Идентификатор оценки, u_i	Эксперт, x_i					
	Наименование идентификатора	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Устойчивость к поражаемости красным бактериозом	22	10	17	21	21	6
2	Устойчивость к поражаемости пыльной головней	23	9	11	20	23	13
3	Содержание лизина в белке	4	8	2	25	3	14
4	Высота растения после созревания	18	25	22	9	7	12
5	Устойчивость к поражаемости твердой головней	20	7	18	19	22	5
6	Устойчивость к осыпанию	19	21	21	10	24	23
7	Содержание жира в зерне	3	4	3	23	5	16
8	Длина подметельчатого междоузлия	16	11	9	1	12	7
9	Количество зерен в метелке	15	5	23	14	8	21
10	Устойчивость к низкой температуре при прорастании семян	24	22	1	17	20	11
11	Продолжительность периода вегетации «всходы–полная спелость» (интервал между нормативной и фактической)	25	26	26	16	25	25
12	Длина соцветия	17	6	15	4	9	17
13	Ширина листа (в среднем ярусе)	9	1	14	5	2	3
14	Масса метелки с зерном	13	20	24	12	14	24
15	Урожайность зерна	26	23	25	15	26	26
16	Масса 1000 зерен	14	16	19	13	15	22
17	Устойчивость к поражаемости злаковой тлей	21	14	5	18	19	1
18	Окраска зерновки (основной тон)	2	15	16	2	6	2
19	Выдвинутость ножки метелки	12	24	10	3	13	19
20	Содержание крахмала в зерне	5	18	4	24	11	15
21	Длина листа (в среднем ярусе)	10	2	12	6	1	3
22	Пленчатость зерна	8	3	20	11	18	4
23	Содержание танина в зерне (интервал между нормативным и фактическим)	7	17	13	22	17	20
24	Число листьев на растении	11	13	8	7	4	9
25	Продуктивная кустистость	1	12	7	8	16	10
26	Содержание сырого белка в зерне	6	19	6	26	10	18

То есть число экспертов в количестве 6 человек для генеральной выборки из 8 экспертов вполне репрезентативно.

Согласованность мнения экспертов определили (Наследов, 2020) по критерию Кендалла (коэффициенту конкордации):

$$W_{\text{расч.}} = \frac{12 \sum_{i=1}^K (\sum_{j=1}^m Y_{ij} - \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^m Y_{ij})^2}{m^2 (K^3 - K)}, \quad (3)$$

где m – количество j -х экспертов; K – количество i -х факторов (идентификаторов) оценки; Y_{ij} – значение ранговой оценки i -го фактора у j -го эксперта.

Численное значение коэффициента конкордации составило 0,39.

В соответствии с разработкой Хлыстунов и др. (2023) лингвистической переменной уро-

вень согласованности мнений экспертов вполне достаточный (умеренный) при 100%-й вероятности.

Расчетное значение (Наследов, 2020) критерия Пирсона рассчитали по формуле

$$\chi^2_{\text{расч.}} = m(K-1)W_{\text{расч.}}, \quad (4)$$

и оно составило 58,635, что более чем в 1,5 раза превысило его табличное значение (Горелик и Шерстюков, 2020) при числе степеней свободы $f = 25$ ($f = K - 1$) и значимости 0,01. Таким образом, согласованность мнений экспертов неслучайна.

С учетом вышеизложенного, используя программное обеспечение (Свид. 202369614), диаграмму ранговой оценки идентификаторов (признаков) получили в следующем виде (рис. 1).

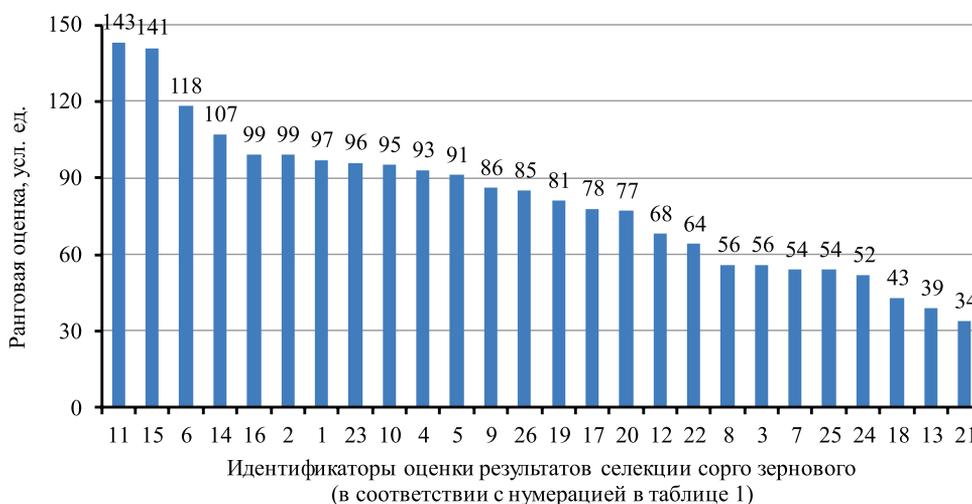


Рис. 1. Диаграмма ранговой оценки идентификаторов, учитываемых при анализе результатов селекции сорго зернового
Fig. 1. Diagram of the ranking estimation of identifiers taken into account when analyzing the results of grain sorghum breeding

По результатам структурирования полученного статистического материала на основе анализа интегральной эмпирической функции распределения накопленных частот по специально разработанной программе (Свид. 2023667053) для ЭВМ установили (рис. 2), что доля существенных (наиболее значимых) идентификаторов сформирована из 13 оценочных признаков результатов селекции сорго зернового. Это продолжительность периода вегетации, урожайность, устойчивость к осыпанию, масса метелки с зерном, масса 1000 зерен, устойчивость к поражаемости пыльной головней, устойчивость к поражаемости красным бактериозом, содержание танина в зерне, устойчивость к низкой температуре при проращивании семян, высота растения после созревания, устойчивость к поражаемости пыльной головней, количество зерен в метелке, содержание сырого белка в зерне. На их долю по количеству приходится 50,00 % из общей сово-

купности и 64,01 % по ранговой значимости. Группу малосущественных признаков составили 6 признаков. В соответствии с нумерацией в таблице 1 это 19, 17, 20, 12, 22 и 8-й признаки.

Далее определили в соответствии с методикой, подробно изложенной в Khlystunov et al. (2023), шкалу баллов по существенным признакам для эталонного образца.

$$B_{ic} = \frac{R_{ic} * 100\%}{\sum_{i=1}^{K_c} R_{ic}}, \quad (5)$$

где R_{ic} – ранговая оценка i -го существенного признака, усл. ед.; K_c – количество существенных признаков, численно равно 13.

Для дальнейших расчетов приняли 100-балльную шкалу оценки, по сумме равную процентному соотношению признаков в совокупности существенных признаков (идентификаторов).

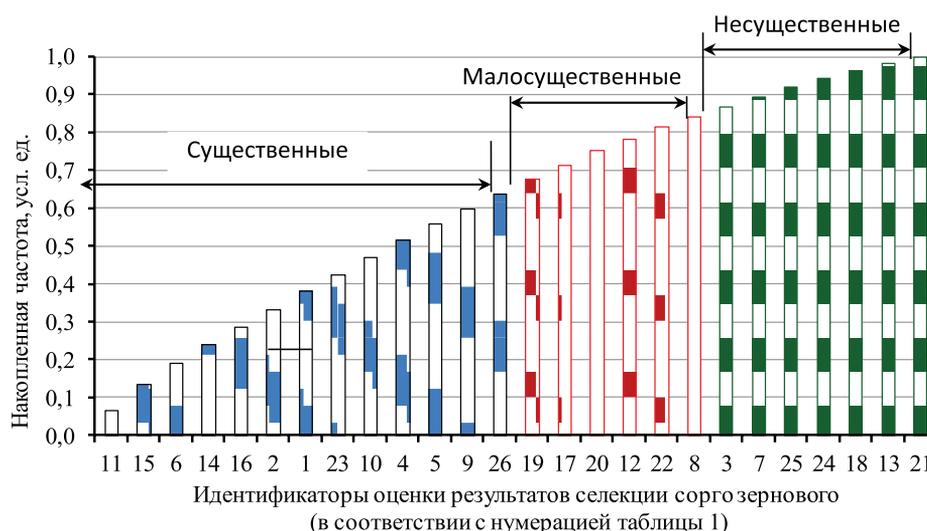


Рис. 2. Диаграмма интегральной функции накопленных частот доли значения каждого идентификатора в общей совокупности
Fig. 2. Diagram of the integral function of the accumulated frequencies of the fraction the values of each identifier in total

В конечном счете комплексный показатель оценки сравниваемого сорта сорго зернового с эталонным сортом рассчитали как

$$B_{\Sigma C} = \sum_{i=1}^{K_C} B_{iC}' * \frac{B_{iCP}}{B_{iЭ}}, \quad (6)$$

где B_{iC} – оценка в баллах i -го признака у эталонного сорта сорго зернового, балл; $B_{iCP}, B_{iЭ}$ – значение в абсолютном оцифрованном выражении

соответственно i -го признака сравниваемого сорта и соответствующего i -го признака эталонного сорта.

В качестве реализации вышеизложенного использовали данные по трем сортам сорго зернового селекции «АНЦ «Донской». Это Зерноградское 88 (эталон), Атаман и Есаул.

Результаты расчета свели в таблицу 2. В этой таблице b_i соответствует второму множителю из формулы (6).

Таблица 2. Данные комплексной оценки результатов селекции сорго зернового
Table 2. Data of the comprehensive estimation of the results of grain sorghum breeding

№ п/п	Наименование признаков, размерность	Наименование сорта								
		Зерноградское 88 (эталон)			Атаман			Есаул		
		R_{ic}	B_{ic}	B_{icp}	B_{icp}	δ_i	$B_{ic}\delta_i$	B_{icp}	δ_i	$B_{ic}\delta_i$
1	Продолжительность периода вегетации (интервал между нормированной и фактической продолжительностью), дн.	143	10,59	96(4)	94(6)	1,50	15,89	99(1)	0,25	2,65
2	Урожайность, т/га	141	10,44	5,30	5,60	1,06	11,03	6,20	1,17	12,21
3	Устойчивость к осыпанию, %	118	8,74	100	96	0,96	8,39	98	0,98	8,57
4	Масса метелки с зерном, г	107	7,93	49,50	52,60	1,06	8,43	56,90	1,15	9,12
5	Масса 1000 зерен, г	99	7,33	29,30	28,10	0,96	7,03	27,40	0,94	6,85
6	Устойчивость к поражаемости пыльной головней, %	99	7,33	96	97	1,01	7,41	100	1,04	7,64
7	Устойчивость к поражаемости красным бактериозом, %	97	7,19	95,50	94,50	0,99	7,11	98,50	1,03	7,42
8	Содержание танина в зерне (интервал между нормированным и фактическим значением), %	96	7,11	0,17 (0,33)	0,12 (0,88)	1,15	8,19	0,05 (0,45)	1,36	9,70
9	Устойчивость к низкой температуре при прорастании семян, %	95	7,04	78,70	85,70	1,09	7,67	89,20	1,13	7,98
10	Высота растения после созревания, см	93	6,89	96	128	1,33	9,19	112	1,17	8,04
11	Устойчивость к поражаемости пыльной головней, %	91	6,74	96	97	1,01	6,81	100	1,04	7,02
12	Количество зерен в метелке, шт.	86	6,37	1430	1600	1,12	8,13	1950	1,36	8,69
13	Содержание сырого белка в зерне, %	85	6,30	12,20	11,90	0,98	6,15	11,70	0,96	6,04
Итого		1350	100,00	–	–	–	111,43	–	–	101,93

По данным таблицы 2 построили диаграмму комплексной оценки приведенных сортов сорго зернового (рис. 3).

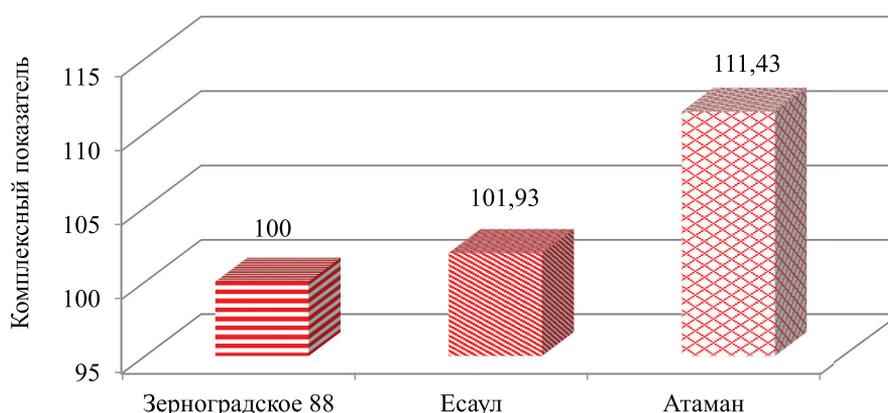


Рис. 3. Диаграмма комплексной оценки сорго зернового
Fig. 3. Diagram of the comprehensive estimation of grain sorghum

Выводы. В результате диверсификации методики сравнительной оценки результатов селекции озимого ячменя применительно к культуре сорго зернового установлена 100-балльная оценочная шкала для его эталонного образца (Зерноградское 88).

Шкала представлена 13 существенными признаками, установленными в результате структурирования статистического массива ранговой оценки отдельных признаков сорго зернового, на долю которых приходится 64,01 % по ранговой значимости.

В результате наложения результатов исследования при сравнительной оценке сортов сорго зернового селекции «АНЦ «Донской» установлено, что сорт Есаул эффективнее эталонного сорта на 1,93 %, а сорт Атаман – на 11,43 %.

В данной работе использован метод структурирования статического массива величин идентификаторов, разработанный В.Ф. Хлыстуновым в соавторстве с Н.А. Коптевой и позволяющий выделить из широкого круга процессов и явлений существенную, малосущественную и несущественную составляющие. Это позволило впервые, в частности в растениеводстве, реализовать идею по разработке методики сравнительной оценки результатов селекции озимого ячменя, а в представленной работе и сорго зернового, по комплексному показателю как суммы научно обоснованной взвешенной балльной оценки существенных признаков (идентификаторов) для каждой из этих сельскохозяйственных культур.

Библиографические ссылки

1. Горелик А. В., Шерстюков О. В. Анализ уровня достоверности информации в информационных системах хозяйства автоматизации и телемеханики на основе метода экспертных оценок // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 5(2). С. 179–183. DOI: 10.17513/snt.39167
2. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstart.ru>. (дата обращения: 05.06.24).
3. Кротченко А. Г., Кулагина Е. А., Сморякова В. Н. Введение в многокритериальную оптимизацию: учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2017. 55 с.
4. Наследов, А. Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интеграция данных: учебное пособие. Санкт-Петербургский ун-т ИТМО, 2020. 64 с.
5. Подиновская О. В., Подиновский В. В. Анализ иерархических многокритериальных задач принятия решений методами теории важности критериев // Проблемы управления. 2014. № 6. С. 2–8.
6. Попов А. С., Янковский Н. Г., Овсянникова Г. В., Сухарев А. А., Кравченко М. Е. Особенности погодных условий в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2012. № 3(21). С. 56–59.
7. Свид. 202369614. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа определения весомости признаков при анализе различных предметных областей / Димитров В. П., Хлыстунов В. Ф., Борисова Л. В., Черняев А. Т.; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет (ДГТУ)» (RU). № 2023669614; заявл. 29.08.2023; опубл. 18.09.2023. Бюл. № 9. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
8. Свид. 2023667053. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа для структурирования статистического массива величин идентификатора / Хлыстунов В. Ф., Коптева Н. А., Димитров В. П. и др.; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Аграрный научный центр «Донской» (RU). № 2023667053; заявл. 06.06.2023; опубл. 09.08.2023. Бюл. № 8. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

9. Тертерян А. С., Бровко А. В. Методы оптимизации многокритериальных задач с использованием локальной важности критериев // Моделирование системы и процессов. 2022. Т. 15, № 1. С. 107–114.
10. Хлыстунов В. Ф., Димитров В. П., Борисова Л. В. Выбор значимых факторов по результатам психологического эксперимента на примере исследования процесса измельчения листостебельной массы // Вестник аграрной науки Дона. 2023. Т. 16, № 4(64). С. 1–4. DOI: 10.55618/20756704_2023_16_4_4-12
11. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *SORGHUM MOENCH*. Л.: редакционно-издательский отдел ВИР, 1982. 35 с.
12. Boyles R. E., Brenton Z. W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // *The Plant Journal*. 2019. Vol. 97. P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113
13. Fantaye B. M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review // *J. Advan. Plant Sci.* 2018. Vol. 1, Article number: 307.
14. Gitz III D. C., Baker J. T., Xin Z., Stout J. E., Lascano R. J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multi-seed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // *American Journal of Plant Sciences*. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106
15. Khlystunov V., Kopteva N., Filippov Y., Udintsova N. Results of the integrated evolution of the winter barley breeding identifiers // *E3S Web Conf.* 2023. Vol. 431, P. 1–12. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101050
16. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Popov A. S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Article number: 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007

References

1. Gorelik A. V., Sherstyukov O. V. Analiz urovnya dostovernosti informatsii v informatsionnykh sistemakh khozyaistva avtomatiki i telemekhaniki na osnove metoda ekspertnykh otsenok [Analysis of the information reliability level in information systems for automation and telemechanics based on the method of expert estimation] // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2020. № 5(2). S. 179–183. DOI: 10.17513/snt.39167
2. Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema [Unified interdepartmental information and statistical system] [Elektronnyi resurs] URL: <https://www.fedstarf.ru>. (data obrashcheniya: 05.06.24).
3. Krotchenko A. G., Kulagina E. A., Smoryakova V. N. Vvedenie v mnogokriterial'nyuyu optimizatsiyu: uchebno-metodicheskoe posobie [Introduction to multi-criteria optimization: a textbook]. Nizhnii Novgorod: Nizhegorodskii universitet, 2017. 55 s.
4. Nasledov A. D. Matematicheskie metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i integratsiya dannykh: uchebnoe posobie [Mathematical methods of psychological research. Data Analysis and Integration: a textbook]. S.-Peterb. un-t ITMO, 2020. 64 S.
5. Podinovskaya O. V., Podinovskii V. V. Analiz ierarhicheskikh mnogokriterial'nykh zadach prinyatiya reshenii metodami teorii vazhnosti kriteriev [Analysis of hierarchical multicriteria decision-making issues using the methods of the criteria importance theory] // *Problemy upravleniya*. 2014. № 6. S. 2–8.
6. Popov A. S., Yankovskii N. G., Ovsyannikova G. V., Sukharev A. A., Kravchenko M. E. Osobennosti pogodnykh uslovii v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Features of weather conditions in the southern part of the Rostov region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2012. № 3(21). S. 56–59.
7. Svid. 202369614. Rossiiskaya Federatsiya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM. Programma opredeleniya vesomosti priznakov pri analize razlichnykh predmetnykh oblastei [Certif. 202369614. Russian Federation. Certificate of official registration of a computer program. The program for determining the value of features in the analysis of various subject areas] / Dimitrov V. P., Khlystunov V. F., Borisova L. V., Chernyaev A. T.; zayavitel' i pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Donskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet (DG TU)» (RU). № 2023669614; zayavl. 29.08.2023; opubl. 18.09.2023. Byul. № 9. Reestr programm dlya EVM. 1 s.
8. Svid. 2023667053. Rossiiskaya Federatsiya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM. Programma dlya strukturirovaniya statisticheskogo massiva velichin identifikatora [Certif. 2023667053. Russian Federation. Certificate of official registration of a computer program. The program for structuring a statistical array of identifier values] / Khlystunov V. F., Kopteva N. A., Dimitrov V. P. i dr.; zayavitel' i pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie «Agrarnyi nauchnyi tsentr «Donskoi» (RU). № 2023667053; zayavl. 06.06.2023; opubl. 09.08.2023. Byul. № 8. Reestr programm dlya EVM. 1 s.
9. Terteryan A. S., Brovko A. V. Metody optimizatsii mnogokriterial'nykh zadach s ispol'zovaniem lokal'noi kachestvennoi vazhnosti kriteriev [Methods for optimizing multicriteria problems using local qualitative importance of criteria] // *Modelirovanie sistemy i protsessov*. 2022. Т. 15, № 1. С. 107–114.
10. Khlystunov V. F., Dimitrov V. P., Borisova L. V. Vybor znachimykh faktorov po rezul'tatam psikhologicheskogo eksperimenta na primere issledovaniya protsessa izmel'cheniya listostebel'noi massy [Selection of significant factors based on the results of a psychological experiment using the example of a study of the process of crushing leafy stem mass] // *Vestnik agrarnoi nauki Dona*. 2023. Т. 16, № 4(64). С. 1–4. DOI: 10.55618/20756704_2023_16_4_4-12
11. Shirokii unifikirovannyi klassifikator SEV i mezhdunarodnyi klassifikator SEV vozdel'yvaemykh vidov roda *SORGHUM MOENCH* [A wide unified classifier of COMECON and international classifier of COMECON of cultivated *SORGHUM MOENCH* species]. L.: redaktsionno-izdatel'skii otdel VIR, 1982. 35 s.

12. Boyles R. E., Brenton Z. W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // *The Plant Journal*. 2019. Vol. 97. P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113
13. Fantaye, B. M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review // *J. Advan. Plant Sci*. 2018. Vol. 1, Article number: 307.
14. Gitz III D. C., Baker J. T., Xin Z., Stout J. E., Lascano R. J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multi-seed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // *American Journal of Plant Sciences*. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106
15. Khlystunov V., Kopteva N., Filippov Y., Udintsova N. Results of the integrated evolution of the winter barley breeding identifiers // *E3S Web Conf*. 2023. Vol. 431, P. 1–12. DOI: 10.1051/e3sconf/202343101050
16. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Popov A. S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Article number: 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007

Поступила: 04.07.24; доработана после рецензирования: 07.08.24; принята к публикации: 15.08.24.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Хлыстунов В. Ф. – концептуализация исследований, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Ковтунов В. В. – концептуализация исследований, выполнение опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.