

华北夏谷区不同谷子品种农艺性状综合分析

王淑婷, 李小艳, 秦家范*, 刘忠玲, 孙晓娟

(洛阳市农林科学院, 河南 洛阳 471023)

摘要: 为选育适合华北夏谷区夏播的谷子品种, 综合运用灰色关联分析(GRA)、隶属函数分析法、优劣解距离法(TOPSIS)及秩和比综合分析法(RSR), 对2024年华北夏谷区谷子区域试验参试品种开展多维度综合评价。结果表明, 豫谷101、沧313、郑谷678和23HK311在4种评价体系中均排名靠前, 综合性状表现优异。4种评价方法计算的结果与产量排名并不是一致的, 说明产量不是评价谷子品种的唯一标准, 其中, 谷子的穗长、穗粗、单穗重、穗粒重和千粒重等综合性状是综合评价谷子品种的重要因素。总体而言, 豫谷101、沧313、郑谷678和23HK311是综合性状优良且稳定的品种, 具有重要育种价值。

关键词: 谷子; 灰色关联分析; 隶属函数分析法; 优劣解距离法; 秩和比综合分析法

中图分类号: S515.01

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)03-0020-09

Analysis of Agronomic Characteristics of Different Millet Varieties in Summer Millet Region of North China

WANG Shuting, LI Xiaoyan, QIN Jiafan*, LIU Zhongling, SUN Xiaojuan

(Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Luoyang 471023, China)

Abstract: To breed millet varieties suitable for summer sowing in the summer millet region of North China, this study comprehensively used Grey Relational Analysis(GRA), Membership Function Analysis(MFA), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS) and Rank-Sum Ratio(RSR) to conduct a multi-dimensional comprehensive evaluation of the varieties tested in the millet regional test in the summer millet region of North China in 2024. The results showed that Yugu101, Cang313, Zhenggu678 and 23HK311 ranked high among the four evaluation systems, and their comprehensive characteristics performed well. The results calculated by the four evaluation methods are not consistent with the yield rankings. Yield is not the sole criterion for evaluating millet varieties, comprehensive traits such as panicle length, panicle thickness, panicle weight, grain weight per panicle, and thousand-grain weight are also crucial factors in the overall assessment of millet varieties. Overall, Yugu101, Cang313, Zhenggu678, and 23HK311 are varieties with excellent and stable comprehensive traits, and have significant breeding value.

Key words: Millet; Grey relational analysis; Membership function analysis; Technique for order preference by similarity to ideal solution; Rank-sum ratio

谷子(*Setaria italica* L. Beauv.)起源于我国黄河流域, 是最早被驯化和栽培的作物之一, 也是我国干旱贫瘠地区的重要粮食作物, 具有耐逆、营养高效等优点, 至今仍然在维持作物多样性和国

民膳食营养平衡中发挥着重要作用^[1-2]。谷子育种主要在中国, 主产区集中在华北夏谷区、东北春谷区、西北春谷区及北部高原地区。华北夏谷区是谷子的重要产区, 也是近年来播种面积变化较大的地区^[3-4]。

灰色关联度分析在作物育种及品种选育研究中具有广泛的应用, 是一种有效的多因素统计分析方法。该方法通过计算各性状序列与理想序列之间的关联度, 量化评价指标与目标性状之间的相互关系, 从而为品种的综合评价提供依据, 在小麦、水稻、玉米和花生等作物育种上报道较

收稿日期: 2025-12-24

基金项目: 河南省农业良种联合攻关项目“节水耐瘠高产杂粮新品种选育与应用”(2022010401); 河南省甘薯杂粮产业技术体系项目(HARS-22-04-S)

作者简介: 王淑婷(1998-), 女, 研究实习员, 硕士, 主要从事谷子新品种选育及配套种植技术研究。

通信作者: 秦家范, E-mail: nkyqjf@126.com

多^[5-10],在谷子区试品种的分析中也有运用。李亚伟等^[11]运用灰色关联分析法,对西北生态区谷子品种的机收特性进行了综合评价,筛选出适宜西北旱区机械化收获的优良谷子品种。董晓杰等^[12]采用灰色关联分析法,对东北春谷区谷子品种的主要产量性状和抗逆性状展开分析,为该地区优良谷子资源的利用及高产、优质品种的培育提供了依据。刘俊芳等^[13]同样借助灰色关联分析法,遴选出适合在华北夏谷区推广种植的前5位的谷子品种。品种综合评价本质上就是一个多指标决策问题,优劣解距离法可处理多指标决策,寻找“综合最优解”,用于作物品种鉴定。宋中强采用优劣解距离法筛选出在华北区试中表现稳定、适应性较强的品种^[14]。隶属函数分析、秩和比综合评价法被广泛用于不同作物不同品种的综合评价。张爱琴等^[15]采用主成分分析和隶属函数法对谷子营养品质进行综合评价,建立谷子营养品质评价体系,筛选营养品质优良的谷子品种。刘春阳等^[16]采用灰色关联度分析法和隶属函数法分别对5个青谷饲草品种的10个指标进行综合分析,明确青谷品种在张家口地区的营养价值,为青谷饲草品种的科学评价提供技术支撑。秩和比综合评价法在医疗卫生领域应用广泛^[17-18],但在农作物的品种综合评价中很少见到。刘俊芳等^[13]分别采用灰色关联度分析、优劣解距离法及秩和比综合评价法对2023年华北夏谷区主推的22个品种的主要性状进行综合评价,结果表明,3种综合评价方法均能对谷子品种作出科学、准确、简单的评价。采用3种以上多元统计分析方法综合评价不同谷子品种,可以使评价结果更客观全面,而同时利用优劣解距离法、隶属函数法和秩和比综合评价法综合评价谷子品种的研究却未见报道。本研究综合运用灰色关联度分析、隶属函数分析法、优劣解距离法及秩和比法,对2024年华北夏谷区谷子区域试验参试品种开展多维度综合评价,以为该地区谷子新品种选育与产业化推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为参加2024年全国谷子品种区域适应性联合鉴定试验华北夏谷区组的22份谷子材料,名称及来源见表1。

1.2 试验方法

采用全国谷子品种区域适应性联合鉴定试验

表1 参试品种名称及来源

Table 1 Name and source of the tested varieties

代号 Code name	品种名称 Variety name	供种单位 Seed supply unit
1	中谷 855	中国农科院作物科学研究所
2	冀杂金苗 4 号	河北省农林科学院谷子研究所
3	邯谷 6 号(19-8551)	邯郸市农业科学院
4	泰谷 6 号	泰安市农业科学院
5	沧 471	沧州市农林科学院
6	豫谷 101 (郑 22C1-1)	河南省农业科学院粮食作物研究所
7	郑谷 678 (郑 22C12)	河南省农业科学院粮食作物研究所
8	保谷 815	保定市农业科学院
9	豫谷 58	安阳市农业科学院
10	豫谷 50	安阳市农业科学院
11	沧 313	沧州市农林科学院
12	邯 22-6023	邯郸市农业科学院
13	洛 19-86	洛阳市农林科学院
14	济 18NR143	山东省农业科学院作物研究所
15	济 16054	山东省农业科学院作物研究所
16	淄 1706	淄博市农业科学研究院
17	23HK311	河北省农林科学院谷子研究所
18	NK821	北京市农林科学院生物技术研究所,河北省农林科学院谷子所
19	M07-3	北京市农林科学院生物技术研究所,河北省农林科学院谷子所
20	中谷 28	中国农业科学院作物科学研究所
21	衡 2024-1	河北省农科院旱作农业研究所
22	豫谷 18	安阳市农业科学院

实施方案开展试验,采用随机区组设计,3次重复,6行区,小区收获面积13.34 m²。以豫谷18为统一对照,行距40 cm,留苗密度60万株/hm²。生育期间及时间苗、定苗、中耕培土、追肥浇水、防治病虫害等田间管理,按照国家谷子区域鉴定试验调查记载项目及标准调查22个品种的农艺性状。

1.3 数据统计与分析

利用Excel 2010对原始数据进行数据整理,采用SPSSPRO对数据进行统计分析。

1.3.1 变异系数

$$CV = \frac{STD}{MEAN}$$

其中, CV为变异系数; STD为标准差; MEAN为平均值。

1.3.2 隶属函数分析

$$U_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$$

其中, U_{ij} 表示第*i*个谷子品种第*j*个性状指标的隶属函数值, X_{ij} 表示第*i*个谷子品种第*j*个性状指标的测量值, $X_{j\max}$ 表示*j*指标的最大值, $X_{j\min}$ 表示*j*指标的最小值。

1.3.3 灰色关联度、优劣解距离法(TOPSIS)、秩和比(RSR)综合评价法

利用SPSSPRO对数据进行灰色关联度、优劣解距离法、秩和比综合评价法分析。

2 结果与分析

2.1 各农艺性状的变异分析

从表2可以看出,各农艺性状和产量指标均存在一定程度的变异,其中,产量的变异系数最高(15.68%),表明不同品种(系)间的产量稳定性较差,差异较大,是造成整体变异的主要因素。其次,穗粒重(5.53%)和单穗重(5.30%)的变异系数也较高,说明穗部性状在不同品种间波动较显著,可能直接影响产量表现。而生育期(1.66%)、千粒重(1.51%)和出谷率(1.77%)的变异系数较低,说明这些性状在不

表2 不同谷子品种(系)农艺性状与产量的变异分析
Table 2 Analysis of variations in agronomic traits and yields of different millet varieties(lines)

参数 Parameter	抽穗期/d Heading period	生育期/d Repro- ductive period	株高/cm Plant height	穗长/cm Spike length	穗粗/cm Spike thick- ness	单穗重/ g Weight per panicle	穗粒重/g Grain weight per panicle	千粒重/g 1000- grain weight	出谷率/% Percent- age of grain weight per panicle	出米率/% Yield rate of millet	产量/ kg·hm ⁻² Yield
最大值	51.00	92.00	137.17	21.29	2.66	18.64	14.95	81.90	76.39	2.80	8 425.50
最小值	45.00	87.00	117.33	18.71	2.30	15.01	12.26	77.30	71.54	2.44	4 692.00
平均值	46.95	89.73	126.10	20.43	2.46	17.24	13.80	80.07	74.30	2.60	6 664.09
标准差	1.89	1.49	5.19	0.67	0.10	0.91	0.76	1.21	1.31	0.12	1 044.68
变异系数(%)	4.02	1.66	4.11	3.27	3.90	5.30	5.53	1.51	1.77	4.42	15.68

同品种间表现较为稳定,遗传一致性较强。

2.2 各农艺性状的相关性分析

从表3可以看出,各农艺性状与产量之间以及各农艺性状间存在复杂的相关关系。产量与单穗重($r=0.542$)和穗粒重($r=0.519$)呈极显著正相关

关系,表明提高穗部重量是增加产量的最直接有效的途径。此外,产量与千粒重($r=0.417$)和出米率($r=0.406$)也表现出较强的正相关,说明籽粒的饱满度和加工品质对最终产量有重要贡献。

值得注意的是,穗长、穗粗与产量呈负相

表3 不同谷子品种(系)各农艺性状的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of various agronomic traits of different millet varieties(lines)

农艺性状 Agronomic traits	抽穗期 Heading period	生育期 Repro- ductive period	株高 Plant height	穗长 Spike length	穗粗 Spike thickness	单穗重 Weight per panicle	穗粒重 Grain weight per panicle	千粒重 1000- grain weight	出谷率 Percent- age of grain weight per panicle	出米率 Yield rate of millet	产量 Yield
抽穗期	1.000										
生育期	0.640	1.000									
株高	0.081	0.495	1.000								
穗长	0.251	-0.236	-0.555	1.000							
穗粗	0.076	0.323	-0.107	-0.095	1.000						
单穗重	-0.154	0.065	0.090	-0.239	-0.023	1.000					

续表 3
Table 3 continued

农艺性状 Agronomic traits	抽穗期 Heading period	生育期 Repro- ductive period	株高 Plant height	穗长 Spike length	穗粗 Spike thickness	单穗重 Weight per panicle	穗粒重 Grain weight per panicle	千粒重 1000- grain weight	出谷率 Percent- age of grain weight per panicle	出米率 Yield rate of millet	产量 Yield
穗粒重	-0.236	-0.093	0.017	-0.254	-0.050	0.963	1.000				
出谷率	-0.364	-0.598	-0.265	-0.105	-0.113	0.020	0.288	1.000			
出米率	0.088	0.224	0.109	0.061	-0.018	0.133	0.085	-0.171	1.000		
千粒重	-0.383	-0.205	-0.009	0.209	0.015	0.420	0.435	0.117	0.217	1.000	
产量	-0.277	0.026	0.271	-0.087	-0.325	0.542	0.519	0.018	0.406	0.417	1.000

关,这可能意味着并非穗越长、穗越粗产量就越高,育种中需注意协调此性状。抽穗期与产量也呈负相关($r=-0.277$),表明抽穗越晚,产量可能越低。

2.3 各农艺性状与产量的灰色关联度分析

灰色关联分析是对评价序列与参考序列(理想株系)的关联度进行计算,这里评价序列是 22

个品种的 11 个农艺性状值,参考序列(理想株系)是(45.00; 87.00; 136.10; 21.29; 2.66; 18.64; 14.95; 81.90; 76.39; 2.80; 8 425.50)。首先对数据进行标准化处理,采用初值化方法进行标准化。其中,抽穗期和生育期作为负向指标处理,即数值越小越优;株高作为中间型指标处理,以其平均值作

表 4 22 个参试品种各农艺性状标准化处理结果
Table 4 The standardized treatment results of various agronomic traits of the 22 tested varieties

品种代号 Code name	抽穗期 Heading period	生育期 Repro- ductive period	株高 Plant height	穗长 Spike length	穗粗 Spike thickness	单穗重 Weight per panicle	穗粒重 Grain weight per panicle	千粒重 1000- grain weight	出谷率 Percent- age of grain weight per panicle	出米率 Yield rate of millet	产量 Yield
中谷 855	0.666 7	0.2	0.202 3	0.000 0	0.472 2	0.914 6	1.000 0	0.333 3	0.688 7	0.926 1	0.701 1
冀杂金苗 4 号	1.000 0	0.4	0.925 0	0.814 0	0.777 8	0.316 8	0.215 6	0.944 4	0.773 2	0.469 6	0.636 4
邯谷 6 号 (19-8551)	0.666 7	0.6	0.470 6	0.837 2	0.000 0	0.694 2	0.710 0	0.611 1	0.593 8	0.767 4	0.586 2
泰谷 6 号	0.666 7	0.8	0.341 5	0.705 4	0.416 7	0.581 3	0.602 2	0.222 2	0.389 7	0.819 6	0.200 5
沧 471	0.333 3	0.4	0.619 7	0.817 8	0.055 6	0.402 2	0.312 3	0.000 0	0.744 3	0.487 0	0.722 8
豫谷 101 (郑 22C1-1)	0.500 0	0.4	0.207 8	0.957 4	1.000 0	1.000 0	0.988 8	0.694 4	0.810 3	0.595 7	0.844 5
郑谷 678 (郑 22C12)	1.000 0	1.0	0.801 3	1.000 0	0.388 9	0.553 7	0.624 5	0.500 0	0.494 8	1.000 0	0.462 8
保谷 815	0.833 3	0.8	0.668 5	0.589 1	0.333 3	0.559 2	0.498 1	0.694 4	0.480 4	0.545 7	0.632 4
豫谷 58	1.000 0	0.4	0.997 3	0.608 5	0.055 6	0.939 4	0.788 1	0.638 9	1.000 0	0.167 4	1.000 0
豫谷 50	1.000 0	0.4	0.495 9	0.449 6	0.333 3	0.840 2	0.732 3	0.333 3	0.484 5	0.323 9	0.759 3
沧 313	0.833 3	0.8	0.832 9	0.949 6	0.194 4	0.815 4	0.840 1	0.972 2	0.909 3	0.760 9	0.903 6
邯 22-6023	0.666 7	0.4	0.798 6	0.798 4	0.555 6	0.851 2	0.817 8	1.000 0	0.000 0	0.563 0	0.369 2
洛 19-86	0.666 7	0.6	0.922 3	0.755 8	0.572 2	0.665 0	0.642 8	0.405 6	0.076 3	0.567 4	0.266 3

续表 4
Table 4 continued

品种代号 Code name	抽穗期 Heading period	生育期 Repro- ductive period	株高 Plant height	穗长 Spike length	穗粗 Spike thickness	单穗重 Weight per panicle	穗粒重 Grain weight per panicle	千粒重 1000- grain weight	出谷率 Percent- age of grain weight per panicle	出米率 Yield rate of millet	产量 Yield
济 18NR143	0.166 7	0.0	0.899 7	0.600 8	0.527 8	0.760 3	0.736 1	0.083 3	0.552 6	0.617 4	0.716 0
济 16054	0.833 3	0.4	0.845 5	0.798 4	0.583 3	0.476 6	0.434 9	0.250 0	0.375 3	0.637 0	0.529 9
淄 1706	0.000 0	0.0	0.963 9	0.914 7	0.472 2	0.259 0	0.026 0	0.111 1	0.614 4	0.000 0	0.158 7
23HK311	1.000 0	0.4	0.913 3	0.372 1	0.777 8	0.603 3	0.617 1	0.722 2	0.985 6	0.789 1	0.409 4
NK821	0.000 0	0.0	0.873 5	0.887 6	0.694 4	0.261 7	0.122 7	0.222 2	0.882 5	0.343 5	0.000 0
M07-3	0.500 0	0.4	0.391 1	0.643 4	0.055 6	0.674 9	0.724 9	0.805 6	0.581 4	0.889 1	0.789 1
中谷 28	0.666 7	0.0	0.000 0	0.170 5	0.750 0	0.749 3	0.628 3	0.305 6	0.389 7	0.300 0	0.570 5
衡 2024-1	1.000 0	0.8	0.544 7	0.527 1	0.361 1	0.000 0	0.000 0	0.027 8	0.224 7	0.952 2	0.395 7
豫谷 18	0.833 3	0.8	0.392 1	0.457 4	0.555 6	0.639 1	0.639 4	0.138 9	0.459 8	0.732 6	0.066 3
23	1.000 0	1.0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0

为理想值进行转换;穗长、穗粗、单穗重、穗粒重、千粒重、出米率、出谷率和产量均作为正向指标处理,即数值越大越优。将标准化后的数据进行灰色关联系数(表4)和灰色关联度分析(表5)。

表 5 22 个参试品种的关联度排名
Table 5 The correlation degree of the 22 tested varieties ranking

评价项 Evaluation item	关联度 Degree of correlation	排名 Ranking	评价项 Evaluation item	关联度 Degree of correlation	排名 Ranking
沧 313	0.755	1	保谷 815	0.571	12
豫谷 58	0.719	2	洛 19-86	0.560	13
豫谷 101(郑 22C1-1)	0.718	3	济 16054	0.557	14
郑谷 678(郑 22C12)	0.704	4	济 18NR143	0.548	15
23HK311	0.668	5	衡 2024-1	0.541	16
冀杂金苗 4 号	0.655	6	豫谷 18	0.540	17
邯 22-6023	0.620	7	泰谷 6 号	0.536	18
中谷 855	0.599	8	NK821	0.512	19
M07-3	0.579	9	沧 471	0.504	20
邯谷 6 号(19-8551)	0.575	10	中谷 28	0.488	21
豫谷 50	0.572	11	淄 1706	0.483	22

根据表 4 的灰色关联系数及表 5 的综合关联度排名,可以对 22 个参试谷子品系的综合表现进行深入分析。整体而言,关联度越高,表明该品系的整体性状与理想参考序列越接近,综合农艺性能和产量潜力越优。综上,沧 313、豫谷 58、豫谷 101、郑谷 678 和 23HK311 等品系在多数重要性状上表现稳定且优异,综合关联度高。

2.4 22 个参试品种的优劣解距离法分析

TOPSIS 方法通过计算各品系与正理想解和负理想解的距离,得出综合得分指数,从而进行客观排序。综合得分指数越高,表明该品系越接近正理想解,综合性能越优。由表 6 可知,沧 313、豫谷 101(郑 22C1-1)、郑谷 678(郑 22C12)、23HK311 和冀杂金苗 4 号综合评价指数较高。

表6 22个参试品种优劣解距离法计算结果
Table 6 The calculation results of the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution for 22 tested varieties

索引 Index	正理想解距离(D+) Positive ideal solution distance	负理想距离(D-) Negative ideal distance	综合得分指数 Comprehensive score index	排序 Sorting
中谷 855	0.565 9	0.600 1	0.514 7	14
冀杂金苗 4号	0.422 6	0.715 5	0.628 7	5
邯谷 6号(19-8551)	0.486 7	0.607 5	0.555 2	9
泰谷 6号	0.538 5	0.555 1	0.507 6	16
沧 471	0.667 5	0.468 6	0.412 5	20
豫谷 101(郑 22C1-1)	0.386 5	0.752 0	0.660 5	2
郑谷 678(郑 22C12)	0.389 3	0.738 8	0.654 9	3
保谷 815	0.412 0	0.634 7	0.606 4	6
豫谷 58	0.484 4	0.729 4	0.600 9	7
豫谷 50	0.518 2	0.574 9	0.525 9	12
沧 313	0.308 4	0.819 3	0.726 5	1
邯 22-6023	0.469 0	0.676 7	0.590 7	8
洛 19-86	0.502 8	0.579 3	0.535 3	11
济 18NR143	0.641 4	0.535 7	0.455 1	18
济 16054	0.515 4	0.555 6	0.518 8	13
淄 1706	0.800 0	0.417 0	0.342 6	22
23HK311	0.387 5	0.710 8	0.647 2	4
NK821	0.745 5	0.481 7	0.392 5	21
M07-3	0.498 7	0.615 8	0.552 5	10
中谷 28	0.663 5	0.481 1	0.420 3	19
衡 2024-1	0.665 6	0.556 6	0.455 4	17
豫谷 18	0.552 5	0.572 8	0.509 0	15

2.5 隶属函数分析

选取与灰色关联度分析相同的指标,进行隶属函数分析(表 7)。豫谷 101(郑 22C1-1)表现最

好,以 0.726 5 的平均隶属值排名第 1 位,排名第 2、3 位的品种分别为沧 313(0.641 9)和 23HK311,衡 2024-1 和 淄 1706 排名靠后。

表7 22个参试品种各农艺性状的隶属函数值
Table 7 The membership function values of each agronomic trait of the 22 tested varieties

品种代号 Code name	穗长 Spike length	穗粗 Spike thickness	单穗重 Weight per panicle	穗粒重 Grain weight per panicle	出谷率 Percent-age of grain weight per panicle	出米率 Yield rate of millet	千粒重 1000-grain weight	产量 Yield	平均值 Average value	排名 Ranking
中谷 855	0.000 0	0.472 2	0.914 6	1.000 0	0.926 1	0.688 7	0.333 3	0.701 1	0.641 5	6
冀杂金苗 4号	0.814 0	0.777 8	0.316 8	0.215 6	0.469 6	0.773 2	0.944 4	0.636 4	0.548 3	9
邯谷 6号 (19-8551)	0.837 2	0.000 0	0.694 2	0.710 0	0.767 4	0.593 8	0.611 1	0.586 2	0.516 4	10
泰谷 6号	0.705 4	0.416 7	0.581 3	0.602 2	0.819 6	0.389 7	0.222 2	0.200 5	0.413 2	16
沧 471	0.817 8	0.055 6	0.402 2	0.312 3	0.487 0	0.744 3	0.000 0	0.722 8	0.496 6	19

续表 7
Table 7 continued

品种代号 Code name	穗长 Spike length	穗粗 Spike thickness	单穗重 Weight per panicle	穗粒重 Grain weight per panicle	出谷率 Percent- age of grain weight per panicle	出米率 Yield rate of millet	千粒重 1000- grain weight	产量 Yield	平均值 Average value	排名 Ranking
豫谷 101 (郑 22C1-1)	0.957 4	1.000 0	1.000 0	0.988 8	0.595 7	0.810 3	0.694 4	0.844 5	0.726 5	1
郑谷 678 (郑 22C12)	1.000 0	0.388 9	0.553 7	0.624 5	1.000 0	0.494 8	0.500 0	0.462 8	0.486 9	7
保谷 815	0.589 1	0.333 3	0.559 2	0.498 1	0.545 7	0.480 4	0.694 4	0.632 4	0.484 2	12
豫谷 58	0.608 5	0.055 6	0.939 4	0.788 1	0.167 4	1.000 0	0.638 9	1.000 0	0.567 1	4
豫谷 50	0.449 6	0.333 3	0.840 2	0.732 3	0.323 9	0.484 5	0.333 3	0.759 3	0.507 3	13
沧 313	0.949 6	0.194 4	0.815 4	0.840 1	0.760 9	0.909 3	0.972 2	0.903 6	0.641 9	2
邯 22-6023	0.798 4	0.555 6	0.851 2	0.817 8	0.563 0	0.000 0	1.000 0	0.369 2	0.565 3	8
洛 19-86	0.755 8	0.583 3	0.705 2	0.643 1	0.567 4	0.076 3	0.583 3	0.259 3	0.521 7	14
济 18NR143	0.600 8	0.527 8	0.760 3	0.736 1	0.617 4	0.552 6	0.083 3	0.716 0	0.619 4	11
济 16054	0.798 4	0.583 3	0.476 6	0.434 9	0.637 0	0.375 3	0.250 0	0.529 9	0.473 5	15
淄 1706	0.914 7	0.472 2	0.259 0	0.026 0	0.000 0	0.614 4	0.111 1	0.158 7	0.456 2	21
23HK311	0.372 1	0.777 8	0.603 3	0.617 1	0.789 1	0.985 6	0.722 2	0.409 4	0.578 8	3
NK821	0.887 6	0.694 4	0.261 7	0.122 7	0.343 5	0.882 5	0.222 2	0.000 0	0.538 8	20
M07-3	0.643 4	0.055 6	0.674 9	0.724 9	0.889 1	0.581 4	0.805 6	0.789 1	0.640 5	5
中谷 28	0.170 5	0.750 0	0.749 3	0.628 3	0.300 0	0.389 7	0.305 6	0.570 5	0.563 4	17
衡 2024-1	0.527 1	0.361 1	0.000 0	0.000 0	0.952 2	0.224 7	0.027 8	0.395 7	0.261 5	22
豫谷 18	0.457 4	0.555 6	0.639 1	0.639 4	0.732 6	0.459 8	0.138 9	0.066 3	0.378 0	18

2.6 秩和比综合评价分析法

根据刘俊芳^[13]等的方法进行秩和比综合评价分析法,在对标准化后的数据采用熵权法进行处理后,计算得出 7 个指标的权重。随后,针对每一项评价指标,按其数值大小进行排序,得到相应的秩次 R,并以该秩次 R 替代原始指标值。在此基础上,计算了各对象的 RSR 值及其排序,并进一步求得对应的 Probit 值(即累积频率所对应的概

率单位)。以 Probit 值为自变量,RSR 值为因变量,建立了直线回归方程,拟合得到各 RSR 的估计值。最后,根据拟合后的 RSR 值重新排序,并完成分档等级划分,由表 8 可知,排名前 5 位的分别是豫谷 101、郑谷 678(郑 22C12)、23HK311、沧 313 和中谷 855,其中,豫谷 101、郑谷 678(郑 22C12)和 23HK311 分档等级为 3 级,效应最好。

表 8 分档等级结果汇总
Table 8 Summary of the classification and grading results

索引 Index	RSR 排名 RSR ranking	Probit	RSR 拟合值 RSR fitting value	分档等级 Classification grade
豫谷 101(郑 22C1-1)	2	6.691	0.759	3
郑谷 678(郑 22C12)	3	6.335	0.715	3

续表 8
Table 8 continued

索引 Index	RSR 排名 RSR ranking	Probit	RSR 拟合值 RSR fitting value	分档等级 Classification grade
23HK311	4	6.097	0.686	3
沧 313	1	7.278	0.831	3
中谷 855	14	4.770	0.523	2
洛 19-86	11	5.114	0.565	2
衡 2024-1	18	4.252	0.459	2
中谷 28	19	4.092	0.439	2
M07-3	10	5.230	0.579	2
济 16054	13	4.886	0.537	2
济 18NR143	17	4.395	0.477	2
邯 22-6023	7	5.605	0.625	2
冀杂金苗 4 号	5	5.908	0.663	2
豫谷 50	12	5.000	0.551	2
豫谷 58	6	5.748	0.643	2
保谷 815	8	5.473	0.609	2
泰谷 6 号	16	4.527	0.493	2
邯谷 6 号(19-8551)	9	5.349	0.594	2
豫谷 18	15	4.651	0.508	2
淄 1706	22	3.309	0.343	1
NK821	21	3.665	0.387	1
沧 471	20	3.903	0.416	1

3 讨论与结论

从各农艺性状的变异分析结果来看,产量和穗部相关性状(单穗重、穗粒重)是品种选育中需要重点关注的变异来源。而生育期、千粒重等性状的一致性较好,在育种中可能更容易固定。在性状间的相互关系上,单穗重与穗粒重之间存在极高的正相关($r=0.963$),说明两者几乎同步变化,是同一性状的不同表现。生育期与抽穗期正相关较强($r=0.640$),符合生物学逻辑。而株高与穗长呈负相关($r=-0.555$),表明植株过高可能不利于穗部伸长,或在品种中存在此消彼长的权衡关系。产量与穗长、穗粗间呈现负相关,这一结果与李振蛟等关于产量与穗长、穗粗呈负相关一致^[9]。

灰色关联分析通过构建综合参试品种优良性状的参考序列(最佳),来评价参试品种的优劣,使结果更准确有效。结果表明,沧 313、豫谷 58、豫谷 101、郑谷 678 和 23HK311 这 5 个品种与参考序列更紧密,综合评价更高,是具有推广潜力的优良品种。灰色关联分析结果为品种选育和性状优化提供了重要依据,强调了多性状协同提升对于

实现高产优质的重要性。TOPSIS 分析结果与灰色关联分析具有一定一致性,沧 313、豫谷 101 和郑谷 678 等均为综合表现优异的品系。这一结果为进一步品种选育和推广提供了科学依据,强调了多指标综合评价在作物育种中的重要性。

隶属函数分析结果表明,豫谷 101 在穗部性状和产量构成上综合优势突出,而沧 313 和中谷 855 在部分性状上表现优异但存在短板。生育期较长的品种(如济 18NR143)可能更适合光温资源充足的区域,而千粒重和出米率高的品种(如沧 313、23HK311)在品质导向育种中具有潜力。后续育种可针对特定性状(如穗长、千粒重)进行改良,以提升整体适应性。秩和比综合评价分析法分档等级呈现明显梯度差异,排名前 4 位的品种:豫谷 101、郑谷 678(郑 22C12)、23HK311 和沧 313 均属于第 3 档(拟合值 ≥ 0.680),表明这些品种在目标性状上具有显著优势。集中于第 1 档的品种,其性状表现需通过育种改良或栽培优化提升竞争力。

本研究基于 SOSSPRO 数据分析平台,采用灰色关联度、优劣解距离法、隶属函数分析以及秩

和比综合评价法对2024年华北夏谷区22个参试品种的农艺性状进行评价。结果表明,豫谷101、沧313、郑谷678和23HK311在上述4种评价体系中排名靠前,这4个品种在多项农艺性状上综合表现优异。郑谷678在关联度排名第4位、TOPSIS排名第3位、秩和比综合分析中排名第2位,但在隶属函数分析中排第7位,表明不同评价方法因权重和侧重点差异可能导致排序波动。4种评价方法计算的结果与产量排名并不是一致的,产量并不是评价谷子品种的唯一标准,其中,谷子的穗长、穗粗、单穗重、穗粒重和千粒重等综合性状也是综合评价谷子品种的重要因素。总体来看,豫谷101、沧313、郑谷678和23HK311为综合性状优良的稳定品种。不同方法排序的细微差异反映了各模型权重分配和评价侧重点的不同,需结合育种目标选择适宜评价体系。

参考文献:

- [1] 薛亚鹏,辛旭霞,王若楠,等.国内外谷子资源农艺、品质性状差异分析以及遗传多样性研究[J].作物学报,2024,50(10):2468-2482.
XUE Y P, XIN X X, WANG R N, et al. Analysis of agronomic, quality traits and genetic diversity of domestic and foreign foxtail millet resources[J]. Acta Agronomica Sinica, 2024, 50(10): 2468-2482. (in Chinese)
- [2] 李顺国,刘斐,刘猛,等.中国谷子产业和种业发展现状与未来展望[J].中国农业科学,2021,54(3):459-470.
LI S G, LIU F, LIU M, et al. Current status and future prospective of foxtail millet production and seed industry in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(3): 459-470. (in Chinese)
- [3] 刁现民.育种创新造就谷子种业新发展[J].中国种业,2022(4):4-7.
DIAO X M. Breeding innovation creates new development of millet seed industry[J]. China Seed Industry, 2022(4): 4-7. (in Chinese)
- [4] 张婷,师志刚,王根平,等.华北夏谷区2001—2015年谷子育种变化[J].中国农业科学,2017,50(23):4475-4489.
ZHANG T, SHI Z G, WANG G P, et al. The alterations of foxtail millet breeding in North China Summer-Sowing Region from 2001 to 2015[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(23): 4475-4489. (in Chinese)
- [5] 晁漫宁,王勘,马庆,等.安徽省小麦区试半冬性品种农艺性状灰色关联度分析及品质鉴定[J].陕西农业科学,2025,71(4):45-51,105.
CHAO M N, WANG X, MA Q, et al. Agronomic trait grey correlation analysis and quality evaluation of semi-winter wheat varieties in Anhui[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2025, 71(4): 45-51,105. (in Chinese)
- [6] 王曙光,闵恩桂,郭万胜,等.不同粳稻品种(系)灰色关联分析及综合评价[J].陕西农业科学,2017,63(11):4-7.
WANG S G, MIN S G, GUO W S, et al. Grey correlation analysis and comprehensive evaluation of different Japonica Rice varieties(lines)[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2017, 63(11): 4-7. (in Chinese)
- [7] 张小娟,殷建军.不同青贮玉米品种鉴定及灰色关联度分析[J].种业导刊,2024(2):16-23.
ZHANG X J, YIN J J. Identification and grey correlation analysis of different silage corn varieties[J]. Journal of Seed Industry Guide, 2024(2): 16-23. (in Chinese)
- [8] 彭伟,曾文兵,孙开利,等.13个玉米组合产量及产量相关性状的灰色关联度分析[J].农业科技通讯,2024(9):91-96.
PENG W, ZENG W B, SUN K L, et al. Grey correlation degree analysis of yield and yield-related traits of 13 corn combinations[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2024(9): 91-96. (in Chinese)
- [9] 焦灰敏,桑玉伟,何宗铃,等.花生产量与主要农艺性状、品质性状的灰色关联度分析[J].北方农业学报,2024,52(6):22-30.
JIAO H M, SANG Y W, HE Z L, et al. Analysis of grey correlation degree between peanut yield and major agronomic and quality traits[J]. Journal of Northern Agriculture, 2024, 52(6): 22-30. (in Chinese)
- [10] 赵志强,朱凌云,唐福森,等.利用灰色关联度分析法评价新疆水稻农艺性状、品质与产量间的关系[J].山东农业大学学报(自然科学版),2025,56(1):167-173.
ZHAO Z Q, ZHU L Y, TANG F S, et al. Assessing the relationship between agronomic traits, quality and yield of rice in xinjiang using grey relational analysis[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science Edition), 2025, 56(1): 167-173. (in Chinese)
- [11] 李亚伟,张磊,刘天鹏,等.西北生态区谷子农艺性状、经济性状的分析与评价[J].作物杂志,2024(5):48-53.
LI Y W, ZHANG L, LIU T P, et al. Analysis and evaluation of agronomic and economic characteristics of foxtail millet in north-west ecological region[J]. Crops, 2024(5): 48-53. (in Chinese)
- [12] 董晓杰,李志江,马金丰,等.东北春谷区谷子产量与主要农艺性状的灰色关联分析[J].黑龙江农业科学,2022(7):25-31.
DONG X J, LI Z J, MA J F, et al. Grey correlation analysis of millet yield and main agronomic characters in spring-sowing region of northeast China[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2022(7): 25-31. (in Chinese)
- [13] 刘俊芳,解慧芳,邢璐,等.华北夏谷区谷子品种综合评价[J].江苏农业科学,2025,53(11):79-85.
LIU J F, XIE H F, XING L, et al. Comprehensive evaluation of foxtail millet cultivars in summer foxtail millet planting region of North China[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2025, 53(11): 79-85. (in Chinese)
- [14] 宋中强,徐淑霞,杨慧凤,等.利用DTOPSIS法综合分析谷子新品种豫谷25[J].农业科技通讯,2017(4):119-122.
SONG Z Q, XU S X, YANG H F, et al. Comprehensive analysis of new millet variety Yugu 25 using DTOPSIS method[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2017(4): 119-122. (in Chinese)

(下转第28页)

- GE C B, QIN S Y, QIAO J L, et al. Comparative analysis of agronomic traits, quality and disease evolution of approved wheat varieties in southern Henan and southern Huai River in Jiangsu from 2001 to 2021[J]. *Crops*, 2023(5): 49–58. (in Chinese)
- [7] 李爱国, 付家锋, 宋晓霞, 等. 黄淮南片小麦新品种(系)抗病性综合评价及优异种质资源筛选[J]. *南方农业学报*, 2023, 54(4): 1065–1076.
- LI A G, FU J F, SONG X X, et al. Comprehensive evaluation of wheat disease resistance and screening of excellent germplasm resources of new wheat varieties(strains)in the south of Huang-Huai Region[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2023, 54(4): 1065–1076. (in Chinese)
- [8] 张俊灵, 孙美荣, 张东旭, 等. 外引小麦种质材料的初步鉴定与评价[J]. *山西农业科学*, 2012, 40(5): 429–432.
- ZHANG J L, SUN M R, ZHANG D X, et al. Primary identification and evaluation of wheat germplasm from generation challenge program[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2012, 40(5): 429–432. (in Chinese)
- [9] 沈吉成, 李亚鑫, 赵彩霞, 等. 52份波兰小麦种子性状分析[J]. *麦类作物学报*, 2021, 41(7): 834–841.
- SHEN J C, LI Y X, ZHAO C X, et al. Analysis of seed traits of 52 wheat varieties(*triticum polonicum* L.)[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(7): 834–841. (in Chinese)
- [10] 宋红玲, 杨进文, 李宁, 等. 山西省主推小麦品种籽粒形态性状分析[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(13): 1–6.
- SONG H L, YANG J W, LI N, et al. Main wheat varieties promoted in Shanxi Province: analysis of grain morphological traits [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(13): 1–6. (in Chinese)
- [11] 赵永涛, 薛国典, 张锋, 等. 国审小麦新品种豫麦 158 的选育[J]. *河南农业科学*, 2015, 44(12): 36–38.
- ZHAO Y T, XUE G D, ZHANG F, et al. Breeding of national authorized new wheat variety Yumai 158[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44(12): 36–38. (in Chinese)
- [12] 张锋, 薛国典, 赵永涛, 等. 国审小麦新品种漯麦 18 的选育[J]. *河南农业科学*, 2013, 42(12): 37–39.
- ZHANG F, XUE G D, ZHAO Y T, et al. Breeding of new wheat variety Luomai 18[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2013, 42(12): 37–39. (in Chinese)
- [13] 何盛莲, 雷振生, 吴政卿, 等. 高产优质强筋小麦新品种—郑麦 366[J]. *麦类作物学报*, 2008(1): 174.
- HE S L, LEI Z S, WU Z Q, et al. A new high-yield, high-quality and strong-gluten wheat variety—Zhengmai 366[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2008(1): 174. (in Chinese)
- [14] 王鑫, 宋鹏博, 王笑笑, 等. 305 份国内外小麦种质条锈病与白粉病抗性鉴定与评价[J]. *麦类作物学报*, 2021, 41(6): 689–698.
- WANG X, SONG P B, WANG X X, et al. Identification and evaluation of resistance to stripe rust and powdery mildew of 305 domestic and foreign wheat germplasms[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(6): 689–698. (in Chinese)

(责任编辑:王 昱)

(上接第 36 页)

- [15] 张爱琴, 郭斌, 柳利龙, 等. 基于主成分分析和隶属函数法的谷子营养品质综合评价[J]. *河南农业科学*, 2025, 54(1): 28–39.
- ZHANG A Q, GUO B, LIU L L, et al. Comprehensive evaluation of nutritional quality of Millet based on principal component analysis and membership function method[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2025, 54(1): 28–39. (in Chinese)
- [16] 刘春阳, 孙全文, 赵月平, 等. 利用灰色关联度和隶属函数法评价 5 个‘张杂谷’饲草谷子品种的营养价值[J]. *草地学报*, 2024, 32(5): 1522–1528.
- LIU C Y, SUN Q W, ZHAO Y P, et al. Evaluation of the nutritional value of five millets(*setaria italica* beauv.) varieties using grey relational analysis and membership function method[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(5): 1522–1528. (in Chinese)
- [17] 宋选波, 李津蜀, 张莉莉, 等. TOPSIS 法和秩和比法模糊联合在 2018—2022 年度四川省重点人群碘缺乏病监测结果综合评价中的应用研究[J]. *预防医学情报杂志*, 2024, 40(5): 465–469.
- SONG X B, LI J S, ZHANG L L, et al. Fuzzy combination of TOPSIS and RSR for comprehensively assessing of surveillance results for iodine deficiency diseases in the key populations of Sichuan Province from 2018 to 2022[J]. *Journal of Preventive Medicine Information*, 2024, 40(5): 465–469. (in Chinese)
- [18] 顾维波, 王汉文, 汪卓赟, 等. 基于 TOPSIS 法和秩和比法的安徽省三级公立医院医疗质量综合评价[J]. *齐齐哈尔医学院学报*, 2023, 44(9): 845–850.
- GU W B, WANG H W, WANG Z Z, et al. Comprehensive evaluation of medical quality in tertiary public hospitals in Anhui Province based on TOPSIS method and RSR method[J]. *Journal of Qiqihar University of Medicine*, 2023, 44(9): 845–850. (in Chinese)
- [19] 李振姣, 王孟, 井苗, 等. 榆林市不同谷子品系农艺性状分析[J]. *东北农业科学*, 2023, 48(1): 19–22.
- LI Z J, WANG M, JING M, et al. Analysis on agronomic characters of different millet varieties in Yulin[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2023, 48(1): 19–22. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)