

采用 DTOPSIS 法和隶属函数法 对西北春玉米区域试验的综合评价

张正洁¹ 杨国华¹ 郭瑞红¹ 程凯华¹ 米兴旺¹ 刘飞²

(¹酒泉市农业科学研究院, 735000, 甘肃酒泉; ²甘肃精准源农业有限责任公司, 730000, 甘肃兰州)

摘要 为更好地鉴定玉米新品种, 促进品种审定推广, 利用基于熵权的 DTOPSIS 法和结合主成分分析的隶属函数法, 对 2023 年西北春玉米区域试验中 15 个品种的产量性状、抗倒伏能力、抗病性和脱水性等 14 个性状进行综合分析。结果表明, 基于熵权的 DTOPSIS 法与结合主成分分析的隶属函数法综合评价排在前三的品种均是棒博士 58、万丰 8121、DK223; 隶属函数法综合评价品种最大差异率为 62.55%, DTOPSIS 法综合评价品种最大差异率为 38.19%。因此, 初步筛选出棒博士 58 和万丰 8121 综合表现好、具有较高推广应用潜力的品种; 2 种评价方法均能客观评价玉米品种的综合表现, 但结合主成分分析的隶属函数法更合理。

关键词 DTOPSIS 法; 隶属函数法; 西北春玉米; 区域试验; 综合评价

品种作为农业发展的“芯片”, 是决定农作物高产优质的基础^[1]。区域试验是选育品种的关键环节, 不仅集中反映了育种工作的最新动态及水准, 也是连接市场与科研的重要纽带^[2-3]。玉米是我国重要的粮食作物, 西北春玉米作为我国玉米的重要组成部分, 其高产潜力最大^[4-5]。因此, 科学评价西北春玉米区域试验结果, 客观鉴定参试品种特性, 对玉米新品种审定具有重要意义^[6]。目前, 玉米区域试验数据分析仍聚焦在产量性状上, 对抗逆性和抗病性等性状兼顾不够^[2,7], 容易出现不能全面反映玉米品种高产稳产的问题, 这使得不少新品种在区域试验中表现突出, 但在实际推广中表现欠佳。用适当方法对参试品种多性状指标进行综合评价, 是一种为玉米生产筛选良种的有效措施。

DTOPSIS 法和隶属函数法是 2 种常用的综合评价方法^[8]。DTOPSIS 法又称逼近理想解排序法, 是将多性状指标归一处理后计算不同指标对理想效果的贡献, 并根据品种综合性状对理想解的接近程度比较各品种的优劣^[9-10]。基于熵权的 DTOPSIS 法是一种依据熵权法赋予各性状指标对理想解权重的综合评价方法^[11]。该方法已在玉米^[2,11]、小麦^[12]、番茄^[13-14]、水稻^[15-16]和谷子^[17]等多种作物的综合评价中应用。杨禹伟等^[18]利用熵权法和 DTOPSIS 法综合评价加工番茄的 7 个品质性状, 发现基于熵权的 DTOPSIS 法在综合评价多性状时,

可有效解决评价标准单一的问题, 具有较强的可行性; 齐建双等^[2]采用基于熵权的 DTOPSIS 法综合分析河南农科联合体的 18 个玉米品种, 认为在确保参试品种产量的基础上, 采用基于熵权的 DTOPSIS 法等多种评价方法, 可降低审定品种的生产风险; 高山等^[8]采用灰色关联度和 DTOPSIS 法从 9 个表型性状综合评价羊草种质资源, 结果表明, 相较灰色关联度法和熵值法综合评价, 基于熵权的 DTOPSIS 法更适合羊草性状综合评价。

隶属函数法是一种把定性评价转化为定量计算, 并以各指标的隶属函数值进行综合评价的方法, 结合主成分分析的隶属函数法是通过主成分分析将多个指标简化成几个相互独立的综合指标, 并把综合指标定量转化后进行综合评价的方法^[19-24], 该方法已在马铃薯^[20]、玉米^[21]、小麦^[22]、蚕豆^[23]等多种作物中应用。孟晨等^[25]采用结合主成分分析的隶属函数法对 11 份益母草进行苗期耐盐性评价, 认为这是一种有效全面的综合评价方法, 并筛选出 2 份耐盐性较好的材料; 陆姣云等^[24]利用主成分分析的隶属函数法综合分析 14 份乡土狼尾草幼苗的抗寒能力, 认为该方法对 11 个耐寒性指标的评价可靠客观, 适用于对狼尾草耐寒性的综合评价。

目前, 有关基于熵权的 DTOPSIS 法(以下简称 DTOPSIS 法)和结合主成分的隶属函数法(以下简称隶属函数法)综合评价西北春玉米区域试

作者简介: 张正洁, 主要从事玉米遗传与育种研究, E-mail: 2289250983@qq.com

杨国华为通信作者, 主要从事玉米遗传与育种研究, E-mail: zzj2289250983@163.com

基金项目: 甘肃省农业农村厅农业科技支撑项目“粮棉油作物种质创新与新品种研发及示范”(酒财省指农【2024】260号)

收稿日期: 2024-12-27; 修回日期: 2025-03-18; 网络出版日期: 2025-04-03

验的报道较少。本研究将结合 2 种方法综合分析 2023 年和恒西北春玉米联合体区域试验的 15 个参试品种在产量、抗倒伏、脱水性、抗病性等指标方面的表现，筛选综合表现较好的玉米新品种（系），并比较不同综合评价方法，为西北春玉米的品种鉴定及产业发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试材料来自 2023 年和恒西北春玉米联合体区域试验，包括 15 个试验品种（含对照），9 个品种为第 1 年参试（1a），5 个品种为第 1 年续试（2a），详见表 1，对照为先玉 335。试验涉及新疆、内蒙古、甘肃、宁夏、陕西 5 个省区共 19 个试验点，其中 2 个试点因试验种邮寄过晚报废，试验数据为 17 个试点的试验结果平均值。

表 1 参试品种
Table 1 Test varieties

代号 Code	品种 Variety	来源 Source	试验类型 Trial type
J1	大汇 66	石家庄永协农业科技有限公司	2a
J2	金科 003	张掖市金牛农业有限责任公司	2a
J3	龙玉 1319	酒泉酒粮种业有限责任公司	2a
J4	万丰 8121	新疆新锐恒丰农业科技有限公司	2a
J5	万瑞 7 号	陕西万福种业有限公司	2a
J6	DK223	高台中农大康科技开发有限公司	1a
J7	棒博士 58	河南秀青种业有限公司	1a
J8	甘农 237	甘肃农业大学	1a
J9	龙玉 107	酒泉酒粮种业有限责任公司	1a
J10	龙玉 108	酒泉酒粮种业有限责任公司	1a
J11	盛玉 718	武威市搏盛种业有限责任公司	1a
J12	万瑞 18	陕西万福种业有限公司	1a
J13	新农 830	海南蓝海新农农业集团有限公司	1a
J14	鑫锐 3117	新疆新锐恒丰农业科技有限公司	1a
J15	先玉 335	铁岭先锋种子研究有限公司	—

1.2 试验设计

试验采用随机区组排列，每个小区种植 5 行，面积 20 m²，重复 3 次，收中间 3 行测产，种植密度 82 500 株/hm²（新疆试点 90 000 株/hm²）。

1.3 性状测定

按照《农作物品种试验规程》^[26]进行数据采集，测定指标包括产量、穗长、穗行数、生育期、株高、穗位、百粒重、叶片数、倒伏率、倒折率、空秆率、秃尖长、籽粒含水量、茎腐病发病率共 14 个。

1.4 分析方法

1.4.1 DTOPSIS 法 用 DTOPSIS 法进行综合评价^[2,7-8]，将 15 个参试品种（ i ）的 14 个指标（ j ）进行无量纲化处理。

$$\text{正向指标 } Z_{ij} = Y_{ij} / Y_{j\max} \quad (1)$$

$$\text{中性指标 } Z_{ij} = Y_{ij} / [Y_j + \text{ABS}(Y_j - Y_{ij})] \quad (2)$$

$$\text{逆向指标 } Z_{ij} = Y_{j\min} / Y_{ij} \quad (3)$$

式中， Z_{ij} 为无量纲化值， Y_{ij} 为无量纲化前品种 i 的指标 j 值， $Y_{j\max}$ 、 $Y_{j\min}$ 分别为指标 j 的最大值、最小值， Y_j 为指标 j 的均值，ABS 为绝对值。

计算品种与理想解相对接近度：

$$\text{正理想解距离 } (S_i^+) = \left[\sum_{j=1}^{14} (R_{ij} - X_j^+)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\text{负理想解距离 } (S_i^-) = \left[\sum_{j=1}^{14} (R_{ij} - X_j^-)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\text{与理想解的相对接近度 } (C_i) = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-) \quad (6)$$

式中， R_{ij} 形成决策矩阵 R ，其中 $R_{ij} = W_i \times Z_{ij}$ ， W_i 为各性状权重， X^+ 和 X^- 分别为各性状 R_{ij} 的最大值和最小值。

1.4.2 隶属函数法 用隶属函数法进行综合评价^[24-25]，各指标隶属函数计算公式为：

$$U_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (7)$$

式中， U_i 为测定各指标的隶属函数值； X_{\min} 和 X_{\max} 分别为各性状指标的最小值和最大值。

$$W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i \quad (8)$$

$$D_i = \sum_{i=1}^n U_i \times W_i \quad (9)$$

式中， W_i 为第 i 个综合指标的权重； P_i 为经主成分分析所得第 i 个综合指标的贡献率； D_i 为参试品种综合评价价值。

2 结果与分析

2.1 DTOPSIS 法评价品种结果

2.1.1 评价矩阵 Z 参照公式(1)、(2)、(3)将参试品种性状数据（表 2）无量纲化处理，其中正向指标有 3 个，分别为产量、穗长、穗行数；中性指标有 5 个，分别为生育期、株高、穗位、百粒重及叶片数；反向指标有 6 个，分别为倒伏率、倒折率、空秆率、秃尖长、籽粒含水量及茎腐病发病率。

2.1.2 决策矩阵 R 参照高山等^[8]计算各性状的熵值及权重，14 个性状的权重在 0.0012~0.2468，按照表 2 顺序各性状权重依次为 0.0015、0.0024、0.0019、0.0012、0.0022、0.0029、0.0016、0.0015、0.2265、0.2225、0.2468、0.1192、0.1648、0.0050，

表 2 15 份参试品种性状均值
Table 2 Average traits values of 15 varieties

品种 Variety	产量 Yield (kg/hm ²)	穗长 Ear length (cm)	穗行数 Row number per ear	生育期 Growth period (d)	株高 Plant height (cm)	穗位 Ear height (cm)	百粒重 100- grain weight (g)	叶片数 Number of leaves	倒伏率 Lodging rate (%)	倒折率 Inversion rate (%)	茎腐病 发病率 Incidence rate of stem rot (%)	秃尖长 Bald tip length (cm)	空秆率 Empty stalk rate (%)	籽粒 含水量 Grain moisture (%)
DK223	17 220.2	18.1	16.8	139.9	301.7	117.7	36.9	19.0	0.3	0.1	3.3	0.9	0.1	21.1
棒博士 58 Bangboshi 58	17 325.9	18.6	16.8	139.6	276.0	107.1	36.6	19.0	0.1	0.1	2.8	0.2	0.5	19.2
大汇 66 Dahui 66	15 837.8	17.9	16.3	139.1	297.4	120.8	37.0	20.0	0.3	0.3	16.0	0.4	0.2	21.0
甘农 237 Gannong 237	17 216.9	18.1	16.9	139.6	299.4	111.5	36.3	20.0	0.6	0.1	12.9	1.9	0.4	20.6
金科 003 Jinke 003	17 186.6	21.1	17.4	139.6	330.9	129.8	37.2	19.0	0.3	0.1	4.4	1.2	0.4	20.7
龙玉 107 Longyu 107	16 125.0	20.2	17.1	140.2	291.4	117.5	34.4	20.0	1.5	0.2	23.9	1.6	0.5	20.9
龙玉 108 Longyu 108	17 241.9	18.8	17.1	139.5	289.4	116.6	38.2	19.0	0.3	0.1	17.7	1.2	0.3	19.9
龙玉 1319 Longyu 1319	17 259.3	20.2	16.2	139.9	293.7	105.9	38.7	19.0	0.3	0.5	3.4	0.9	1.4	20.3
盛玉 718 Shengyu 718	16 789.2	18.7	16.1	140.1	322.1	128.3	38.0	20.0	0.3	0.1	9.8	0.9	0.5	20.9
万丰 8121 Wanfeng 8121	17 294.7	20.2	18.3	140.7	296.4	115.9	38.3	20.0	0.3	0.1	10.5	0.9	0.2	20.2
万瑞 18 Wanrui 18	17 234.1	20.1	17.3	139.9	293.4	120.0	36.5	19.0	0.1	0.1	5.0	0.6	0.3	21.7
万瑞 7 号 Wanrui 7	17 374.4	20.6	16.5	139.9	290.1	115.7	37.1	19.0	0.4	0.1	13.4	0.4	0.8	21.6
先玉 335 Xianyu 335	16 335.0	20.0	17.0	138.8	304.3	112.6	37.0	19.0	0.7	0.3	9.9	1.4	0.5	19.9
新农 830 Xinnong 830	17 085.0	19.4	17.1	139.9	321.0	129.9	37.1	20.0	0.3	0.1	11.5	0.7	0.4	20.9
鑫锐 3117 Xinrui 3117	16 809.3	19.0	15.2	138.6	304.9	119.6	39.3	19.0	0.3	0.5	5.0	0.6	0.4	14.1
极差 Range	1536.6	3.2	3.1	2.1	54.9	24.0	4.9	1.0	1.4	0.4	21.1	1.7	1.3	7.5
标准差 Standard deviation	466.3	1.0	0.7	0.5	13.9	7.1	1.1	0.5	0.3	0.1	6.0	0.5	0.3	1.7
变异系数 Coefficient of variation (%)	2.8	5.0	4.0	0.4	4.6	6.0	3.0	2.5	80.5	75.4	59.8	49.6	64.9	8.6

其中权重最大的为茎腐病发病率，最小的为生育期；各性状标准化值乘以权重得到决策矩阵 R ，并根据决策矩阵 R 得到 14 个性状的正理想解 (S_i^+) 与负理想解数 (S_i^-)，详见表 3。

表 3 DTOPSIS 法评价结果
Table 3 Results of DTOPSIS evaluation

品种 Variety	S_i^+	S_i^-	C_i	C_i 排序	C_i ranking
DK223	1.0144	1.3905	0.5782		3
棒博士 58 Bangboshi 58	0.6811	1.4659	0.6828		1
大汇 66 Dahui 66	1.3648	1.2026	0.4684		12
甘农 237 Gannong 237	1.2845	1.1752	0.4778		10
金科 003 Jinke 003	1.2173	1.2780	0.5122		5
龙玉 107 Longyu 107	1.4299	1.0441	0.4220		15
龙玉 108 Longyu 108	1.2573	1.2228	0.4930		9
龙玉 1319 Longyu 1319	1.3467	1.1734	0.4656		13
盛玉 718 Shengyu 718	1.2621	1.2332	0.4942		8
万丰 8121 Wanfeng 8121	0.9831	1.3966	0.5869		2
万瑞 18 Wanrui 18	1.1994	1.2897	0.5181		4
万瑞 7 号 Wanrui 7	1.2487	1.2251	0.4952		7
先玉 335 Xianyu 335	1.4214	1.0948	0.4351		14
新农 830 Xinnong 830	1.2525	1.2453	0.4986		6
鑫锐 3117 Xinrui 3117	1.3552	1.1997	0.4696		11

2.1.3 对理想解的相对接近度 根据公式(4)、(5)、(6)分别计算出各品种与正、负理想解的距离及各参

试品种与理想解的相对接近度 C_i (表 3)，品种 C_i 值越大，说明综合表现越好。

结果表明 15 个参试品种 C_i 值在 0.4220~0.6828，棒博士 58 最大，说明该品种综合表现最好，龙玉 107 最小，综合表现最差。其余品种的综合表现从高到低依次为万丰 8121、DK223、万瑞 18、金科 003、新农 830、万瑞 7 号、盛玉 718、龙玉 108、甘农 237、鑫锐 3117、大汇 66、龙玉 1319、先玉 335。

2.2 指标主成分分析

对参试品种的 14 个性状指标进行主成分分析，提取 6 个特征值大于 1 的主成分，贡献率依次为 28.045%、17.498%、15.309%、11.387%、7.124% 和 5.867%，累计贡献率达 85.229%，基本包含了所测指标的大部分信息 (表 4)。其中，与主成分 1 相关性较大的为倒伏倒折率、生育期和产量等性状；与主成分 2 密切相关的是籽粒含水量、茎腐病发病率、穗行数等性状；与主成分 3 相关性较大是空秆率、穗长和穗位高；与主成分 4 密切相关的为穗长、叶片数及产量；与主成分 5 相关性较大是秃尖长、倒伏和倒折率；与主成分 6 相关

表 4 主成分的特征值向量及累计贡献率
Table 4 Eigenvalue vectors and cumulative contribution rates of principal components

指标 Index	主成分 Principal component					
	1	2	3	4	5	6
产量 Yield	0.661	0.056	0.125	0.424	-0.169	-0.323
穗长 Ear length	0.165	-0.273	0.514	0.693	0.172	0.203
穗行数 Row number per ear	0.210	-0.731	0.230	0.373	0.339	-0.109
生育期 Growth period	0.717	-0.245	0.069	-0.16	-0.420	-0.245
株高 Plant height	-0.691	0.115	0.477	0.199	-0.176	0.007
穗位 Ear height	-0.600	0.066	0.547	0.335	0.214	-0.017
百粒重 100-grain weight	0.541	-0.284	0.298	-0.205	-0.115	0.635
叶片数 Number of leaves	0.418	0.538	0.076	0.542	-0.188	0.324
倒伏率和倒折率 Lodging and inversion rate	0.762	0.082	0.338	-0.017	0.413	-0.146
空秆率 Empty stalk rate	-0.123	-0.031	0.903	0.023	-0.078	0.030
秃尖长 Bald tip length	0.509	0.452	0.112	-0.365	0.494	0.081
籽粒含水量 Grain moisture	-0.320	0.816	-0.201	0.095	0.114	-0.046
茎腐病发病率 Incidence rate of stem rot	0.602	0.581	0.171	0.159	-0.132	-0.079
特征值 Eigenvalue	3.646	2.275	1.990	1.480	1.126	1.073
贡献率 Contribution rate (%)	28.045	17.498	15.309	11.387	7.124	5.867
累计贡献率 Cumulative contribution rate (%)	28.045	45.542	60.851	72.238	79.362	85.229

性较大是百粒重。综上所述，通过主成分分析从 14 个性状中提取 6 个综合指标，可进行后续的隶属函数综合评价。

2.3 指标隶属函数分析

对主成分分析提取的 6 个综合指标进行隶属函数分析，利用公式(7)和(8)计算各综合指标的隶属函数值及对应权重，根据公式(9)计算参试材料综合评价指标 D_i 值，各材料 D_i 值为 0.2805~0.7489，依据 D_i 值对各品种进行评价， D_i 值越高表示品种的综合表现越好，各品种的综合表现依次为棒博士 58>DK223>万丰 8121>金科 003>万瑞 18>盛玉 718>新农 830>大汇 66>万瑞 7 号>龙玉 108>甘农 237>龙玉 1319>鑫锐 3117>龙玉 107>先玉 335（表 5）。

表 5 参试品种的主成分值、隶属函数值与综合评价 D_i 值
Table 5 Principal component value, membership function value and comprehensive evaluation D_i values of the tested varieties

品种 Variety	主成分因子 Principal component factor						隶属函数值 Subordinative function value						D_i
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F1	F2	F3	F4	F5	F6	
棒博士 58 Bangboshi 58	1.9435	1.5281	0.1554	-0.4434	-1.4600	1.0003	1.0000	1.0000	0.6822	0.2092	0.0504	0.8700	0.7489
新农 830 Xinnong 830	-0.9721	0.8284	-0.2972	2.8072	-0.5205	-0.2698	0.0951	0.8031	0.5765	1.0000	0.3574	0.4923	0.4971
龙玉 108 Longyu 108	0.6018	-2.0248	-0.5540	0.6146	-1.1836	1.3095	0.5836	0.0000	0.5166	0.4666	0.1407	0.9619	0.4251
龙玉 1319 Longyu 1319	-0.3104	0.0664	0.5809	-1.2433	-1.6143	-0.6134	0.3005	0.5886	0.7815	0.0146	0.0000	0.3901	0.3889
大汇 66 Dahui 66	-1.2228	0.7380	0.4295	-0.3541	1.2673	0.9912	0.0173	0.7776	0.7462	0.2309	0.9415	0.8673	0.4686
甘农 237 Gannong 237	0.0383	-1.2367	0.5831	-0.6730	0.3425	-1.9253	0.4087	0.2218	0.7820	0.1533	0.6393	0.0000	0.3944
金科 003 Jinke 003	0.3933	0.5018	0.4464	-0.4104	-0.1742	-0.2555	0.5188	0.7111	0.7501	0.2172	0.4705	0.4966	0.5540
鑫锐 3117 Xinrui 3117	-1.0496	1.2771	-0.7811	-1.3031	0.1203	-0.4170	0.0710	0.9294	0.4636	0.0000	0.5667	0.4485	0.3757
先玉 335 Xianyu 335	-1.2785	-0.8038	-0.0989	-0.0422	-0.9282	-0.0514	0.0000	0.3437	0.6228	0.3068	0.2242	0.5572	0.2805
万丰 8121 Wanfeng 8121	1.3145	-0.5655	1.5167	0.6229	1.0735	-0.9575	0.8048	0.4107	1.0000	0.4686	0.8781	0.2878	0.6846
DK223	0.6466	0.8836	0.9361	0.8469	0.5915	-0.1552	0.5975	0.8186	0.8645	0.5231	0.7207	0.5264	0.6863
万瑞 18 Wanrui 18	-0.1512	0.1640	-0.0635	-0.0591	1.0384	0.9151	0.3499	0.6161	0.6311	0.3027	0.8667	0.8447	0.5260
盛玉 718 Shengyu 718	0.4882	-0.8965	-0.7709	-0.6290	1.4464	1.4375	0.5483	0.3176	0.4660	0.1640	1.0000	1.0000	0.5036
龙玉 107 Longyu 107	-1.2024	-0.5726	0.6847	0.0525	-0.3790	0.3765	0.0236	0.4087	0.8058	0.3298	0.4036	0.6845	0.3613
万瑞 7 号 Wanrui 7	0.7609	0.1126	-2.7669	0.2134	0.3799	-1.3850	0.6329	0.6016	0.0000	0.3690	0.6516	0.1607	0.4466

2.4 DTOPSIS 法与隶属函数法应用比较

比较 DTOPSIS 法、隶属函数法及产量的评价结果，DTOPSIS 法排名与产量排名呈显著正相关（ $P<0.05$ ），相关系数为 0.611；隶属函数法排名

与产量排名无显著正相关;DTOPSIS 法排名与隶属函数法排名呈极显著正相关 ($P<0.01$), 相关系数为 0.932。说明产量对 DTOPSIS 法评价的影响大于对隶属函数法评价的影响, 2 种综合评价方法间相关性较强, 评价结果较一致。

结合表 6 可知, DTOPSIS 法与隶属函数法综合评价排在前三的均是棒博士 58、万丰 8121、DK223。产量排序中, DK223 产量排在第 7 位, 棒博士 58、万丰 8121 产量分别排第 2 和第 3 位。可见, 棒博士 58、万丰 8121 不仅具有产量优势, 抗

表 6 不同评价方法排序比较
Table 6 Comparison of different comprehensive evaluation methods and output ranking

品种 Variety	DTOPSIS 法 DTOPSIS method			隶属函数法 Membership function method			产量 Yield		
	C_i 值 C_i value	排序 Ranking	差异率 Difference rate (%)	D_i 值 D_i value	排序 Ranking	差异率 Difference rate (%)	产量 Yield (kg/hm ²)	排序 Ranking	差异率 Difference rate (%)
万瑞 7 号 Wanrui 7	0.4952	7	27.47	0.4466	9	40.36	17 374.35	1	0.00
棒博士 58 Bangboshi 58	0.6828	1	0.00	0.7489	1	0.00	17 325.90	2	0.28
万丰 8121 Wanfeng 8121	0.5869	2	14.05	0.6846	3	8.59	17 294.70	3	0.46
龙玉 1319 Longyu 1319	0.4656	13	31.81	0.3889	12	48.07	17 259.30	4	0.66
龙玉 108 Longyu 108	0.4930	9	27.79	0.4251	10	43.24	17 241.90	5	0.76
万瑞 18 Wanrui 18	0.5181	4	24.11	0.5260	5	29.77	17 234.10	6	0.81
DK223	0.5782	3	15.31	0.6863	2	8.36	17 220.15	7	0.89
甘农 237 Gannong 237	0.4778	10	30.03	0.3944	11	47.33	17 216.85	8	0.91
金科 003 Jinke 003	0.5122	5	24.99	0.5540	4	26.03	17 186.55	9	1.08
新农 830 Xinnong 830	0.4986	6	26.98	0.4971	7	33.63	17 085.00	10	1.67
鑫锐 3117 Xinrui 3117	0.4696	11	31.23	0.3757	13	49.84	16 809.30	11	3.25
盛玉 718 Shengyu 718	0.4942	8	27.62	0.5036	6	32.75	16 789.20	12	3.37
先玉 335 Xianyu 335	0.4351	14	36.28	0.2805	15	62.55	16 335.00	13	5.98
龙玉 107 Longyu 107	0.4220	15	38.19	0.3613	14	51.76	16 125.00	14	7.19
大汇 66 Dahui 66	0.4684	12	31.40	0.4686	8	37.43	15 837.75	15	8.84

逆性、抗病性、脱水性等综合表现也好。

比较 DTOPSIS 法、隶属函数法及产量的评价结果, 差异率最大的是隶属函数法综合评价中品种间的 D_i 值, 在 0%~62.55%, 其次为 DTOPSIS 法品种间的 C_i 值, 在 0%~38.19%, 产量评价的差异率最小, 在 0%~8.84%。说明隶属函数法进行综合评价时, 品种间的差异表现最充分, 其次是 DTOPSIS 法, 单靠产量评价的品种差异最不明显 (表 6)。

3 讨论

区域试验是新品种审定推广的必经流程, 也是鉴定品种丰产稳产性、降低实际生产风险的重要途径^[27]。品种的产量性状与抗逆性、抗病性等性状指标间往往此消彼长, 相较于仅靠单一性状的品种鉴定, 对多性状表现进行综合分析, 将使品种评价更加科学全面。DTOPSIS 法是一种常用于多指标决策的综合评价法^[8], 其中指标的权重系数直接影响评价结果, 相较传统的经验法或均值法赋权, 利用熵权法赋权可有效降低主观误差, 使评价结果更加科学^[28-29]。隶属函数法是一种利用模糊数学的隶属

度理论把定性评价转化为定量计算, 并以各指标的隶属函数值进行综合评价的方法^[30-31], 主成分分析从多个相关性指标中, 降维提取几个能解释大部分原始指标信息的独立主成分^[32], 因此, 结合主成分分析的隶属函数法, 既避免了单一性状评价品种的片面性, 又克服了原始性状信息重叠的误差, 使品种的综合评价结果更可靠。本研究同时用基于熵权的 DTOPSIS 法和结合主成分分析的隶属函数法 2 种方法, 从玉米的产量性状、抗倒伏能力、抗病性和脱水性等方面综合评价参试品种, 对西北春玉米区域试验的品种鉴定有一定参考价值。

试验中 DTOPSIS 法 C_i 值排名和隶属函数法 D_i 值排名结果相关性达极显著水平 ($P<0.01$), 说明 2 种评价结果相近, 2 种综合评价方法具有一致性。但是 D_i 最大差异率为 62.55%, C_i 值最大差异率为 38.19%, D_i 差异率高于 C_i 值, 说明运用结合主成分分析的隶属函数法综合评价品种时, 品种间变异范围更大, 差异更明显, 对品种综合表现的分辨力更强^[33]。因此, 综合评价品种时, 结合主成分分析的隶属函数法比基于熵权的 DTOPSIS 法

更合理。

本研究中棒博士 58 和万丰 8121 在 DTOPSIS 法综合评价和隶属函数法综合评价中均排在前 3，说明这 2 个品种在产量、抗倒伏、抗茎腐病等方面综合表现好，具有较高的推广应用潜力。在实际区域试验中，棒博士 58、DK223 进入区域试验第 2 年及同步生产试验，万丰 8121 作为区域试验和生产试验同步进行的品种，顺利完成试验程序。同时，从理论分析与实际表现相结合的角度， C_i 值排名与 D_i 值排名均第一的棒博士 58 在实际区域试验中除空秆较多外，产量、适应性、抗病性、脱水性等各性状指标表现均较好；而产量排名第一的万瑞 7 号在实际区域试验中倒伏倒折率较高，茎腐病发病率高，空秆较多，籽粒脱水较慢，说明该品种在生产中稳产性较低、适应性较差，相应地，在 C_i 值排名与 D_i 值排名中均有较大的退步。综上所述，DTOPSIS 法综合评价和隶属函数法综合评价与实际区域试验中品种表现较一致，说明在玉米品种的综合评价中，DTOPSIS 法和隶属函数法具有客观性和科学性^[34]。本研究只是基于 1 年区域试验的性状表现，品种筛选还需要参考后续区域试验及生产试验的结果。

4 结论

本试验采用基于熵权的 DTOPSIS 法和结合主成分分析的隶属函数法对 15 份西北春玉米区域试验参试品种的 14 个性状进行综合评价，分析比较 2 种综合评价方法。采用结合主成分分析的隶属函数法时，品种间变异范围更大、差异更明显、对品种综合表现的分辨力更强。2 种方法相结合，同时参考产量结果，筛选出棒博士 58 和万丰 8121 这 2 个综合表现好的品种，这 2 个品种在产量、抗倒伏、抗茎腐病等方面综合表现好，具有较高的推广应用潜力。

参考文献

- [1] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用. 作物学报, 2010, 36(11): 1805-1819.
- [2] 齐建双, 夏来坤, 黄保, 等. 基于熵权的 DTOPSIS 法和灰色局势决策法在玉米品种区域试验中的应用探讨. 作物杂志, 2021 (1): 60-67.
- [3] 王风格, 田红丽, 赵久然, 等. 中国 328 个玉米品种 (组合) SSR 标记遗传多样性分析. 中国农业科学, 2014, 47(5): 856-864.
- [4] 乔远, 杨欢, 雒金麟, 等. 西北地区玉米生产投入及生态环境风险评价. 中国农业科学, 2022, 55(5): 962-976.
- [5] 朱艳彬, 樊晓琴, 吉闻天, 等. 基于 AMMI 模型和 GGE 双标图的西北春玉米品种区域试验综合评价. 中国农业大学学报, 2023, 28(12): 15-24.
- [6] 陈洪梅, 杨峻芸, 谭静. 玉米区域试验精确度分析及品种的灰色综合评判. 西南农业学报, 2004, 17 (增): 228-232.
- [7] 咎凯, 周青, 张志民, 等. 灰色关联度和 DTOPSIS 法综合分析河南区域试验中大豆新品种 (系) 的农艺性状表现. 大豆科学, 2018, 37(5): 664-671.
- [8] 高山, 闫程铭, 万畅, 等. 基于灰色关联度法和 DTOPSIS 法对羊草种质资源综合评价. 草地学报, 2024, 32(2): 599-609.
- [9] 张春艳, 庄克章, 吴荣华, 等. 基于熵值赋权的 DTOPSIS 法对鲁南地区 11 个饲用燕麦品种的综合评价研究. 作物杂志, 2022 (4): 62-68.
- [10] 张子臻, 郑成忠, 徐振朋, 等. 基于熵值赋权 DTOPSIS 法对不同燕麦品种饲草生产性能综合评价. 饲料研究, 2023, 46 (16): 114-120.
- [11] 夏来坤, 齐建双, 谷利敏, 等. 基于熵权的 DTOPSIS 法和灰色局势决策法在宜机收玉米品种综合评价中的应用. 南方农业学报, 2019, 50(9): 1953-1959.
- [12] 金轻, 赵红, 林丽萍, 等. 基于灰色关联度分析和 DTOPSIS 法综合评价小麦新品系在云南省的适应性. 南方农业学报, 2020, 51(10): 2440-2446.
- [13] Cheng G T, Chang P P, Shen Y B, et al. Comparing the flavor characteristics of 71 tomato (*Solanum lycopersicum*) accession in central Shaanxi. Frontiers in Plant Science, 2020, 11: 58683.
- [14] 李国花, 王晓敏, 胡新华, 等. 基于 Dtpsis 法综合评价宁夏日光温室 50 个粉果番茄杂交组合. 华北农学报, 2022, 37 (增 1): 35-43.
- [15] 刘丽娟, 刘延刚, 金桂秀. 用基于熵值赋权的 DTOPSIS 法综合评价水稻品种. 山东农业科学, 2022, 54(7): 39-45.
- [16] 蒋聪, 刘慰华, 杨旭昆, 等. 灰色关联度分析和 DTOPSIS 法在云南粳稻品种综合评价中的应用. 西南农业学报, 2020, 33(5): 907-912.
- [17] 张晓申, 韩燕丽, 樊永强, 等. 基于灰色关联度和 DTOPSIS 法对谷子区域试验的综合评价. 种子, 2022, 41(9): 121-126, 133.
- [18] 杨禹伟, 陈华, 姜波, 等. 一种加工番茄品质的多性状评价方法. 中国农业大学学报, 2017, 22(3): 131-137.
- [19] 黄龙卫, 俞立平. 学术评价中主成分与因子分析的系统误差研究——以学术期刊评价为例. 情报理论与实践, 2025, 48(4): 72-79, 71.
- [20] 杜培兵, 张永福, 白小东, 等. 主成分分析和隶属函数法对马铃薯品种抗旱性的评价. 种子, 2019, 38(8): 120-126.
- [21] 邹成林, 黄开健, 翟瑞宁, 等. 基于隶属函数法和主成分分析评价玉米萌发期抗旱性. 江苏农业科学, 2022, 50(13): 7-13.
- [22] 刘梦莹, 张玉, 张嘉豪, 等. 小麦直立株型种质耐密性评价及鉴定指标筛选. 麦类作物学报, 2025, 45(3): 349-359.
- [23] 金文海, 王慧, 范惠玲, 等. 107 份青海高原耐盐碱蚕豆种质筛选及评价. 种子, 2024, 43(10): 20-26.
- [24] 陆姣云, 田宏, 熊军波, 等. 14 份乡土狼尾草材料幼苗的耐冷性综合评价. 草业学报, 2024, 33(8): 98-111.
- [25] 孟晨, 鲁雪莉, 宋亦汝, 等. 11 份益母草种质材料苗期耐盐性评价与鉴定. 草业学报, 2024, 33(5): 196-203.
- [26] 中华人民共和国农业部. 农作物品种试验技术规程 玉米: NY/T 1209-2006. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [27] 聂迎彬, 穆培源, 桑伟, 等. AMMI 模型和 GGE 双标图法在新疆冬小麦区域试验产量分析上的应用. 新疆农业科学, 2012, 49(9): 1569-1575.
- [28] Zou Z H, Yun Y, Sun J N. Entropy method for determination of

- weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, 18(5): 1020-1023.
- [29] Murata T, Horiuchi W, Sato T, et al. 2SpSP-6 application of the maximum entropy method in calculating nuclear strength function. *Meeting Abstracts of the Physical Society of Japan*, 2015, 70(2): 122-124.
- [30] 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. *草地学报*, 2024, 32(5): 1522-1528.
- [31] 周春衡, 王文林, 郑树芳, 等. 基于隶属函数法的不同生草栽培模式下澳洲坚果果园土壤理化性质综合评价. *热带作物学报*, 2024, 45(11): 2362-2370.
- [32] Wang G, Xu H X, Zhao H Y, et al. Screening optimal oat varieties for cultivation in arid areas in china: a comprehensive evaluation of agronomic traits. *Agronomy*, 2023, 13: 2266.
- [33] 宋秀丽, 吴玥, 杨锡朗, 等. 基于熵值赋权的 DTOPSIS 法与灰色关联度分析在玉米品种综合评价中的比较. *玉米科学*, 2020, 28(2): 41-46.
- [34] Xue J, Zhao Y S, Gou L, et al. How high plant density of maize affects basal internode development and strength formation?. *Crop Science*, 2016, 56(6): 3295-3306.

Comprehensive Evaluation of Regional Trials for the Spring Maize in Northwest China Based on DTOPSIS Method and Membership Function Method

Zhang Zhengjie¹, Yang Guohua¹, Guo Ruihong¹, Cheng Kaihua¹, Mi Xingwang¹, Liu Fei²

(¹Jiuquan Academy of Agricultural Sciences, Jiuquan 735000, Gansu, China;

²Gansu Precision Source Agriculture Limited Liability Company, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract In order to better identify new maize varieties and encourage their approval and promotion, 14 traits of 15 spring maize varieties from the regional trial in 2023 in Northwest China were comprehensive examined by DTOPSIS method based on the entropy weight and membership function method combined with principal component analysis. The result showed that the top three were Bangboshi 58, Wanfeng 8121 and DK223 in the comprehensive evaluation of DTOPSIS method based on entropy weight and membership function method combined with principal component analysis. The maximum difference rate was 62.55% by membership function method and 38.19% by DTOPSIS method. Consequently, Bangboshi 58 and Wanfeng 8121 were initially chosen due to their strong potential for application and popularization as well as their good overall performance. Although the comprehensive performance of maize varieties may be objectively assessed using both assessment approaches, the membership function method combined with principal component analysis was more reasonable.

Key words DTOPSIS method; Membership function method; Spring maize in Northwest China; Regional trials; Comprehensive evaluation