

陈 慧,王冀川. 基于灰色关联度及 DTOPSIS 法的南疆冬小麦品种的综合评判[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):102-108.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.022

基于灰色关联度及 DTOPSIS 法的南疆冬小麦品种的综合评判

陈 慧,王冀川

(塔里木大学植物科学学院,新疆阿拉尔 843300)

摘要:运用灰色关联度和 DTOPSIS 2 种评价方法对 17 个冬小麦品种进行综合评判,以期筛选出具有优良性状的品种,为南疆冬小麦优良品种的推广提供依据。结果表明,2 种评判方法所得结果相似,得到的 17 个品种的优劣顺序大体相同。DTOPSIS 法的运算虽然较为复杂,但是其引入了正向指标和逆向指标,品种间性状的评判结果差异性大,结果更合理。2 种评判方法均得出,玉农系列以及济麦 22 号的表现较优,可作为南疆地区推广的优良品种,青丰 1 号与烟农系列的表现较差,不建议作为推广品种。

关键词:冬小麦;灰色关联度;DTOPSIS;综合评价

中图分类号: S512.1⁺10.37

文献标志码: A

文章编号: 1002-1302(2019)10-0102-07

小麦是新疆地区重要的粮食作物之一,2014 年全疆小麦种植面积达到 129.97 万 hm^2 ,全国排名第 8 位,南疆是新疆重要的冬小麦种植区,种植面积占全疆的 65% 以上,在南疆农业经济发展、粮食安全战略和维护少数民族区域社会稳定等方面占有重要地位^[1]。目前,南疆主栽冬小麦品种以新冬 20、新冬 22 为主,由于长期得不到品种更换,小麦的产量和品质提升效果一直不佳,因此筛选出适宜南疆种植的高产优质小麦品种,促进品种更新,对于南疆地区粮食的安全生产及农民增收有着重要的现实意义^[2]。关于作物品种筛选的方法很多,最简单的是数理统计法,黄剑秋等通过调查杂交玉米的产量构成以及其他数据得出,东单 16 的丰产性最好,东单

60、东单 11 等的丰产性较好^[3];许海涛等研究了 11 个玉米农艺性状与产量之间的相关性,并作出多元回归分析和通径分析,由此评判对产量有显著影响的 8 个性状^[4]。多元回归分析在性状评判方面的应用也较多,但用于品种的筛选稍显不足。近些年来,综合考虑小麦多性状间的关系,利用灰色系统理论的方法进行品种评判的研究较多^[5-7],邵秋红等应用灰色关联度分析方法评价了冬小麦 9 个品种的综合性状,克服了常用产量等单一性状的弊端,与实际生产相结合,突出了灰色关联度的现实意义^[8]。高素玲等亦用灰色关联度法分析了春性小麦品种系,将灰色关联度从育种领域扩展到生产领域,并重点提示选用合理性状以及合理的权重系数,根据当地多年生产经验构建合理的参考品种^[7],为综合评价奠定了更好的理论基础。DTOPSIS 法是另一种综合评价作物性状优劣程度的方法,该方法将品种的综合性状量化为该品种对理想解的相对接近度 C_i ,克服了单用方差分析法将产量作为评价品种优劣的唯一标准的不足,在各作物领域中得到了广泛应用^[9-16]。本研究应用灰色关联度和 DTOPSIS 2 种方法,对引进的 17 个冬小麦品种进行综合评判,以期筛选出适于在南疆地区推广的优良品种。

收稿日期:2018-02-03

基金项目:国家自然科学基金(编号:31260303);少数民族聚居团场科技特派员科技帮扶三年行动专项(编号:2013AA002);塔里木大学校长基金(编号:TDZKGG201702);塔里木大学研究生科研创新项目(编号:TDGRI201602)。

作者简介:陈 慧(1993—),女,甘肃定西人,硕士研究生,研究方向为作物水分的高效利用。E-mail:654062849@qq.com。

通信作者:王冀川,硕士,教授,硕士生导师,研究方向为作物高效栽培生理生态。E-mail:wjcwzy@126.com。

[J]. 西安工业大学学报,2015(6):479-482.

[31] 吴燕明,吕高明,周 航,等. 湘南某矿区蔬菜中 Pb、Cd 污染状况及健康风险评估[J]. 生态学报,2014,34(8):2146-2154.

[32] 吴玉峰. 广西典型高背景镉地区的生态风险评价[D]. 广州:广西师范学院,2016.

[33] 王晓娟,王文斌,杨 龙,等. 重金属镉(Cd)在植物体内的转运途径及其调控机制[J]. 生态学报,2015,35(23):7921-7929.

[34] 周晓星. 柳属植物对重金属镉胁迫的生长与生理响应[D]. 北京:中国林业科学研究院,2012.

[35] 丁枫华,刘术新,罗 丹,等. 23 种常见作物对镉毒害的敏感性差异[J]. 环境科学,2011,32(1):277-283.

[36] 刘俊祥,孙振元,巨关升,等. 镉在结缕草(*Zoysia japonica*)中的

积累特性及对矿质代谢的影响[C]//中国观赏园艺研究进展(2010). 北京:中国园艺学会,2010:480-485.

[37] 郭艳丽,台培东,冯 倩,等. 沈阳张士灌区常见木本植物镉积累特征[J]. 安徽农业科学,2009,37(7):3205-3207,3316.

[38] 冯远娇,王建武,骆世明. 植物地上部与地下部的诱导防御反应研究综述[J]. 生态科学,2010,29(3):292-297.

[39] 刘 利,郝小花,田连福. 植物吸收、转运和积累镉的机理研究进展[J]. 生命科学研究,2015,19(2):176-184.

[40] 刘维涛,周启星. 重金属污染预防品种的筛选与培育[J]. 生态环境学报,2010,26(6):1452-1458.

[41] 黄 洁,李开绵,叶剑秋,等. 中国木薯产业化发展研究与对策[J]. 中国农学通报,2006,22(5):421-426.

1 材料与方法

试验在塔里木大学农学实验站网室中进行,以 18 个不同类型的冬小麦品种为供试材料(表 1),开展小区试验,于 2014 年 10 月 1 日播种,等行距 15 cm,播量为 570 万株/hm²,小区面积为 3 m×10 m=30 m²,3 次重复,随机排列,以新冬 20 为对照;试验地于播前统一基施 300 kg/hm² 磷酸二铵,75 kg/hm² 硫酸钾。11 月 10 日冬灌,2015 年 4 月 3 日至 5 月

28 日共灌水 4 次,春季头水前施 225 kg/hm² 尿素 + 120 kg/hm² 磷酸二铵,二水前施 150 kg/hm² 尿素,其他田间管理同大田。

2 结果与分析

定点测定株高、单株成穗数、生育期、越冬率、倒伏率、穗长、小穗数、穗粒数、千粒质量、平均收穗数及平均产量等指标,结果见表 2。

表 1 供试品种的基本情况

编号	品种	特性	来源
X ₁	邯郸 5316	半冬性,早熟,高秆,分蘖力中等	河北省邯郸市农业科学院
X ₂	农大 211	冬性,早熟,矮秆,分蘖力较强	新疆农业科学院粮食作物研究所
X ₃	济麦 22 号	半冬性,中晚熟,分蘖力中等,属多穗型品种	青岛嘉华种业有限公司
X ₄	众信 5189	半冬性,早熟,矮秆,分蘖力中等	河北众信种业科技有限公司
X ₅	玉农 1 号	半冬性,中熟,分蘖力较强	新疆墨玉县种子站
X ₆	山农 22 号	半冬性,中晚熟,中高秆,分蘖力强,多穗型品种	山东银兴种业有限公司
X ₇	众信 3158	半冬性,晚熟,分蘖力中等	河北众信种业科技有限公司
X ₈	众信 5199	半冬性,中晚熟,分蘖力中等	河北众信种业科技有限公司
X ₉	玉农 2 号	半冬性,中晚熟,中高秆,分蘖力中等	新疆墨玉县种子站
X ₁₀	周麦 18 号	半冬性,中熟,矮秆,分蘖力中等	河南省周口市农业科学院
X ₁₁	京麦 7 号	杂交种,冬性,中熟,高秆	北京杂交小麦工程技术研究中心
X ₁₂	新冬 20 号	半冬性,早熟,矮秆,分蘖力弱	新疆农业科学院粮食作物研究所
X ₁₃	烟农 5158	半冬性,中熟,中高秆,分蘖力较弱	青岛嘉华种业有限公司
X ₁₄	烟农 24 号	半冬性,中熟,中高秆,分蘖力强	青岛嘉华种业有限公司
X ₁₅	烟农 0428	冬性,中晚熟,分蘖力中等	青岛嘉华种业有限公司
X ₁₆	烟农 999	半冬性,中晚熟,中高秆,分蘖力中等	青岛嘉华种业有限公司
X ₁₇	青丰 1 号	半冬性,中熟,分蘖力中等	青岛嘉华种业有限公司

表 2 各品种性状

品种	株高 K ₁ (cm)	倒伏率 K ₂ (%)	生育期 K ₃ (d)	越冬率 K ₄ (%)	单株成穗数 K ₅ (穗/株)	穗长 K ₆ (cm)	小穗数 K ₇ (个)	穗粒数 K ₈ (粒)	千粒质量 K ₉ (g)	平均 收穗数 K ₁₀ (万穗/hm ²)	平均 产量 K ₁₁ (kg/hm ²)
X ₁	84.50	59.81	249	93.28	1.81	8.13	18.55	22.32	40.05	733.62	6 558.26
X ₂	76.48	55.93	249	94.02	1.97	7.83	15.85	20.26	39.10	807.29	6 395.30
X ₃	74.83	0.00	253	87.76	2.06	7.19	16.70	24.27	40.38	808.47	7 922.18
X ₄	71.00	0.00	250	92.14	1.76	8.03	17.60	24.35	40.85	719.00	7 151.57
X ₅	75.83	0.00	252	91.69	1.75	8.15	20.10	28.34	38.80	733.62	8 065.34
X ₆	75.10	0.00	254	94.29	1.85	7.35	17.85	24.33	36.70	768.87	6 865.97
X ₇	73.50	11.94	254	86.48	2.01	6.30	17.60	20.96	36.54	782.52	5 992.28
X ₈	70.30	0.00	254	84.52	1.97	7.15	17.40	22.77	38.50	750.95	6 584.34
X ₉	77.95	11.94	254	88.78	1.89	9.15	19.60	26.44	41.15	712.65	7 752.77
X ₁₀	71.25	0.00	249	82.55	1.88	7.50	15.80	21.99	40.30	692.87	6 142.29
X ₁₁	96.25	47.79	253	82.09	2.05	8.70	18.30	23.35	36.80	750.65	6 450.78
X ₁₂	70.93	5.97	246	88.85	1.89	6.53	18.85	25.28	36.10	757.29	6 910.86
X ₁₃	73.60	47.86	250	90.85	1.93	7.60	19.00	21.74	32.76	763.41	5 438.04
X ₁₄	76.50	0.00	218	74.06	2.17	8.30	22.90	20.78	39.40	693.47	5 682.05
X ₁₅	78.50	29.92	255	80.02	1.94	7.00	18.40	21.02	38.97	676.38	5 540.52
X ₁₆	80.30	0.00	253	80.36	1.87	7.50	17.50	23.95	39.69	691.20	6 569.12
X ₁₇	78.50	0.00	250	73.62	2.06	8.10	18.30	20.96	36.26	668.61	5 080.13
X ₀	84.00	0.00	246	93.00	2.00	8.00	20.00	26.00	40.00	800.00	8 065.00

注:X₀ 对应的为设定的理想品种性状指标。下表同。

2.1 农艺性状与产量

以产量为目标,观察产量较对照高的品种,由表 3 可以看出,与新冬 20 号相比,玉农 1 号、济麦 22 号、玉农 2 号的增产

效果明显,分别增产 16.71%、14.63%、12.18%;此外,除众信 5189 外,其余 12 个品种的产量均不及新冬 20 号,其中烟农 24 号、烟农 0428、烟农 5158、青丰 1 号与新冬 20 号的产量

表 3 16 个品种与对照相比的增产效果

品种	产量 (kg/hm ²)	较对照(<i>X</i> ₁₂)增产 (kg/hm ²)	增产率 (%)
<i>X</i> ₁	6 558.26	−352.60	−5.10
<i>X</i> ₂	6 395.30	−515.56	−7.46
<i>X</i> ₃	7 922.18	1 011.32	14.63
<i>X</i> ₄	7 151.57	240.71	3.48
<i>X</i> ₅	8 065.34	1 154.48	16.71
<i>X</i> ₆	6 865.97	−44.89	−0.65
<i>X</i> ₇	5 992.28	−918.58	−13.29
<i>X</i> ₈	6 584.34	−326.52	−4.72
<i>X</i> ₉	7 752.77	841.91	12.18
<i>X</i> ₁₀	6 142.29	−768.57	−11.12
<i>X</i> ₁₁	6 450.78	−460.08	−6.66
<i>X</i> ₁₂	6 910.86	0.00	0.00
<i>X</i> ₁₃	5 438.04	−1 472.82	−21.31
<i>X</i> ₁₄	5 682.05	−1 228.81	−17.78
<i>X</i> ₁₅	5 540.52	−1 370.34	−19.83
<i>X</i> ₁₆	6 569.12	−341.74	−4.94
<i>X</i> ₁₇	5 080.13	−1 830.73	−26.49

相差较远,因而可以不推广这些品种。

2.2 灰色关联度分析

灰色关联度是以所有参试品种组合在一起形成灰色系统,并给定各理想品种相应的值,用无量纲化等数据处理方法计算出参试品种与理想品种之间的加权关联度,关联度越大,说明该品种的综合性状越接近理想品种。选择测定的 17 个品种的 11 个性状为株高(*K*₁)、倒伏率(*K*₂)、生育期(*K*₃)、越冬率(*K*₄)、单株成穗数(*K*₅)、穗长(*K*₆)、小穗数(*K*₇)、穗粒数(*K*₈)、千粒质量(*K*₉)、平均收穗数(*K*₁₀)以及平均产量(*K*₁₁),各性状的平均值及标准差见表 4。设置理想品种为 *X*₀,参试品种为 *X*_{*i*}(*i* = 1,2,3,⋯,17),计算出 17 个参试品种与理想品种之间的关联度。理想品种各性状值设定为参试品种中各性状的最优值或较优值。

将原始数据进行无量纲化处理,参考式(1)得到表 5。

$$X_iK = \frac{X'K - \bar{X}_i}{S_i} \quad (1)$$

式中:*X_iK* 为无量纲化后的各性状指标;*X'K* 为原始性状指标; \bar{X}_i 为原始各性状指标平均值;*S_i* 为原始各性状指标标准差。

表 4 各性状平均值及标准差

项目	<i>K</i> ₁ (cm)	<i>K</i> ₂ (%)	<i>K</i> ₃ (d)	<i>K</i> ₄ (%)	<i>K</i> ₅ (穗/株)	<i>K</i> ₆ (cm)	<i>K</i> ₇ (个)	<i>K</i> ₈ (粒)	<i>K</i> ₉ (g)	<i>K</i> ₁₀ (万穗/hm ²)	<i>K</i> ₁₁ (kg/hm ²)
平均值	76.78	1.93	249.59	86.20	15.95	7.68	18.25	23.12	38.37	735.93	6 535.38
标准差	6.26	0.11	8.52	6.57	22.60	0.74	1.67	2.23	2.21	43.18	862.23
权重	0.072	0.060	0.072	0.060	0.076	0.085	0.080	0.085	0.105	0.105	0.200

表 5 各性状数据的无量纲化处理结果

类别 (<i>X_iK</i>)	无量纲化处理结果										
	<i>K</i> ₁	<i>K</i> ₂	<i>K</i> ₃	<i>K</i> ₄	<i>K</i> ₅	<i>K</i> ₆	<i>K</i> ₇	<i>K</i> ₈	<i>K</i> ₉	<i>K</i> ₁₀	<i>K</i> ₁₁
<i>X</i> ₁ <i>K</i>	1.23	−1.08	−0.07	1.08	1.94	0.61	0.18	−0.36	0.76	−0.05	0.03
<i>X</i> ₂ <i>K</i>	−0.05	0.33	−0.07	1.19	1.77	0.21	−1.44	−1.29	0.33	1.65	−0.16
<i>X</i> ₃ <i>K</i>	−0.31	1.12	0.40	0.24	−0.71	−0.66	−0.93	0.51	0.91	1.68	1.61
<i>X</i> ₄ <i>K</i>	−0.92	−1.52	0.05	0.90	−0.71	0.48	−0.39	0.55	1.12	−0.39	0.71
<i>X</i> ₅ <i>K</i>	−0.15	−1.61	0.28	0.84	−0.71	0.64	1.11	2.34	0.19	−0.05	1.77
<i>X</i> ₆ <i>K</i>	−0.27	−0.73	0.52	1.23	−0.71	−0.44	−0.24	0.54	−0.76	0.76	0.38
<i>X</i> ₇ <i>K</i>	−0.52	0.68	0.52	0.04	−0.18	−1.87	−0.39	−0.97	−0.83	1.08	−0.63
<i>X</i> ₈ <i>K</i>	−1.04	0.33	0.52	−0.26	−0.71	−0.71	−0.51	−0.16	0.06	0.35	0.06
<i>X</i> ₉ <i>K</i>	0.19	−0.38	0.52	0.39	−0.18	2.00	0.81	1.49	1.26	−0.54	1.41
<i>X</i> ₁₀ <i>K</i>	−0.88	−0.47	−0.07	−0.56	−0.71	−0.24	−1.47	−0.51	0.87	−1.00	−0.46
<i>X</i> ₁₁ <i>K</i>	3.11	1.03	0.40	−0.63	1.41	1.39	0.03	0.10	−0.71	0.34	−0.10
<i>X</i> ₁₂ <i>K</i>	−0.93	−0.38	−0.42	0.40	−0.44	−1.55	0.36	0.97	−1.03	0.49	0.44
<i>X</i> ₁₃ <i>K</i>	−0.51	−0.03	0.05	0.71	1.41	−0.10	0.45	−0.62	−2.54	0.64	−1.27
<i>X</i> ₁₄ <i>K</i>	−0.05	2.09	−3.71	−1.85	−0.71	0.84	2.79	−1.05	0.46	−0.98	−0.99
<i>X</i> ₁₅ <i>K</i>	0.27	0.06	0.64	−0.94	0.62	−0.92	0.09	−0.95	0.27	−1.38	−1.15
<i>X</i> ₁₆ <i>K</i>	0.56	−0.55	0.40	−0.89	−0.71	−0.24	−0.45	0.37	0.60	−1.04	0.04
<i>X</i> ₁₇ <i>K</i>	0.27	1.12	0.05	−1.91	−0.71	0.57	0.03	−0.97	−0.96	−1.56	−1.69
<i>X</i> ₀ <i>K</i>	1.15	0.59	−0.42	1.04	−0.71	0.44	1.05	1.29	0.74	1.48	1.77

参考式(2)得到表 6 中的相关数据。

$$\Delta_i(K) = |X_0K - X_iK| \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, 17; K = 1, 2, 3, \cdots, 11)。$$

(2)

式中: $\Delta_i(K)$ 为理想品种 *X*₀ 与各品种 *X_i* 的绝对差;*i* 为 17 个品种;*K* 为 11 个性状指标。

参考式(3)得到关联系数,详见表 7。

$$\xi_iK = \frac{\min\limits_{i \neq k} |X_0K - X_iK| + \rho \max\limits_{i \neq k} |X_0K - X_iK|}{|X_0K - X_iK| + \rho \max\limits_{i \neq k} |X_0K - X_iK|} \quad (3)$$

式中: ξ_iK 为 *X*₀ 与 *X_i* 在第 *K* 点的关联系数; ρ 为分辨系数,取值范围为 0~1,本研究取 0.5; $\min\limits_{i \neq k} |X_0K - X_iK|$ 为最小二级差,取值为 0; $\max\limits_{i \neq k} |X_0K - X_iK|$ 为最大二级差,取值为 3.461 8。

表 6 理想品种(X_0)与参试品种(X_i)的绝对差值

类别 ($\Delta_i K$)	绝对差值										
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
$\Delta_1 K$	0.08	1.67	0.35	0.04	2.65	0.18	0.87	1.65	0.02	1.54	1.75
$\Delta_2 K$	1.20	0.26	0.35	0.16	2.48	0.23	2.49	2.58	0.41	0.17	1.94
$\Delta_3 K$	1.46	0.53	0.82	0.80	0.00	1.10	1.98	0.78	0.17	0.20	0.17
$\Delta_4 K$	2.08	2.11	0.47	0.13	0.00	0.04	1.44	0.74	0.38	1.88	1.06
$\Delta_5 K$	1.30	2.20	0.70	0.20	0.00	0.20	0.06	1.05	0.54	1.54	0.00
$\Delta_6 K$	1.42	1.32	0.94	0.20	0.00	0.88	1.29	0.75	1.49	0.72	1.39
$\Delta_7 K$	1.68	0.09	0.94	0.99	0.53	2.30	1.44	2.26	1.57	0.40	2.40
$\Delta_8 K$	2.19	0.26	0.94	1.29	0.00	1.15	1.56	1.45	0.68	1.14	1.72
$\Delta_9 K$	0.97	0.97	0.94	0.64	0.53	1.56	0.24	0.20	0.52	2.02	0.36
$\Delta_{10} K$	2.04	1.06	0.35	1.59	0.00	0.68	2.52	1.80	0.14	2.48	2.23
$\Delta_{11} K$	1.96	0.44	0.82	1.66	2.11	0.95	1.02	1.19	1.45	1.14	1.87
$\Delta_{12} K$	2.09	0.97	0.00	0.63	0.26	1.99	0.69	0.32	1.77	0.99	1.34
$\Delta_{13} K$	1.66	0.62	0.47	0.33	2.12	0.54	0.60	1.91	3.28	0.85	3.05
$\Delta_{14} K$	1.20	1.50	3.29	2.88	0.00	0.41	1.74	2.34	0.27	2.47	2.76
$\Delta_{15} K$	0.88	0.53	1.06	1.98	1.32	1.35	0.96	2.24	0.47	2.86	2.93
$\Delta_{16} K$	0.59	1.14	0.82	1.92	0.00	0.68	1.50	0.92	0.14	2.52	1.73
$\Delta_{17} K$	0.88	0.53	0.47	2.95	0.00	0.14	1.02	2.26	1.69	3.04	3.46

表 7 各品种性状的产量关联系数

类别 ($\xi_i K$)	产量关联系数										
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
$\xi_1 K$	0.96	0.51	0.83	0.98	0.40	0.91	0.67	0.51	0.99	0.53	0.50
$\xi_2 K$	0.59	0.87	0.83	0.92	0.41	0.88	0.41	0.40	0.81	0.91	0.47
$\xi_3 K$	0.54	0.77	0.68	0.68	1.00	0.61	0.47	0.69	0.91	0.90	0.91
$\xi_4 K$	0.45	0.45	0.79	0.93	1.00	0.98	0.55	0.70	0.82	0.48	0.62
$\xi_5 K$	0.57	0.44	0.71	0.90	1.00	0.89	0.97	0.62	0.76	0.53	1.00
$\xi_6 K$	0.55	0.57	0.65	0.90	1.00	0.66	0.57	0.70	0.54	0.71	0.55
$\xi_7 K$	0.51	0.95	0.65	0.64	0.77	0.43	0.55	0.43	0.52	0.81	0.42
$\xi_8 K$	0.44	0.87	0.65	0.57	1.00	0.60	0.53	0.54	0.72	0.60	0.50
$\xi_9 K$	0.64	0.64	0.65	0.73	0.77	0.53	0.88	0.90	0.77	0.46	0.83
$\xi_{10} K$	0.46	0.62	0.83	0.52	1.00	0.72	0.41	0.49	0.93	0.41	0.44
$\xi_{11} K$	0.47	0.80	0.68	0.51	0.45	0.65	0.63	0.59	0.54	0.60	0.48
$\xi_{12} K$	0.45	0.64	1.00	0.73	0.87	0.47	0.71	0.84	0.50	0.64	0.56
$\xi_{13} K$	0.51	0.74	0.79	0.84	0.45	0.76	0.74	0.47	0.35	0.67	0.36
$\xi_{14} K$	0.59	0.54	0.34	0.38	1.00	0.81	0.50	0.42	0.86	0.41	0.39
$\xi_{15} K$	0.66	0.77	0.62	0.47	0.57	0.56	0.64	0.44	0.79	0.38	0.37
$\xi_{16} K$	0.75	0.60	0.68	0.47	1.00	0.72	0.54	0.65	0.92	0.41	0.50
$\xi_{17} K$	0.66	0.77	0.79	0.37	1.00	0.93	0.63	0.43	0.51	0.36	0.33

参考式(4)、式(5),得到等权关联度和加权关联度,相关权重参考表 4。

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i K; \tag{4}$$

式中: r_i 为等权关联度。

$$r_j = \sum_{k=1}^n W_k \xi_i K。 \tag{5}$$

式中: r_j 为加权关联度; W_k 为权重。

由表 8 可以看出,无论是等权关联度还是加权关联度,玉农 1 号、济麦 22 号以及玉农 2 号、众信 5189、邯鄯 5316 都比对照新冬 20 号高,说明这 5 个品种与理想品种接近;青丰 1 号、烟农 24 号、烟农 0428、烟农 5158、京麦 7 号排名位于最后,与理想品种相差较远,不宜作为新疆地区的推广

品种。

2.3 DTOPSIS 评判

DTOPSIS 是将性状指标分为逆向和正向 2 种,随后建立加权规范化决策矩阵,计算出各品种与理想解之间的距离,其数值越大,则代表越接近理想解。

2.3.1 建立评价矩阵 **A** 采用共 17 个品种的 11 种性状建立评价矩阵 **A**,以新冬 20 为对照,各性状指标参考表 2。

2.3.2 无量纲化处理 原始数据由于单位及量纲不同,不能直接用于比较,要将矩阵 **A** 进行规范化处理,将 11 个性状分为 2 类指标:正向指标(越冬率、单株成穗数、穗长、小穗数、穗粒数、千粒质量、平均收穗数、平均产量)和逆向指标(株高、倒伏率、生育期)。参考式(6),得到规范化矩阵 **Z**(表 9)。

表 8 各品种性状、产量关联度及排序

品种	等权关联度	排序	品种	加权关联度	排序
X_5	0.762 9	1	X_5	0.790 3	1
X_3	0.741 8	2	X_3	0.771 2	2
X_9	0.707 8	3	X_9	0.719 2	3
X_1	0.706 0	4	X_4	0.694 8	4
X_4	0.705 7	5	X_1	0.680 4	5
X_2	0.682 3	6	X_2	0.657 7	6
X_{12}	0.673 9	7	X_6	0.653 0	7
X_6	0.672 1	8	X_{12}	0.652 9	8
X_{16}	0.658 0	9	X_{16}	0.642 2	9
X_8	0.638 6	10	X_8	0.619 5	10
X_{10}	0.620 3	11	X_{10}	0.600 7	11
X_{17}	0.616 1	12	X_7	0.577 6	12
X_{13}	0.607 6	13	X_{17}	0.572 4	13
X_7	0.606 5	14	X_{11}	0.567 4	14
X_{11}	0.581 8	15	X_{13}	0.566 0	15
X_{15}	0.569 1	16	X_{14}	0.554 0	16
X_{14}	0.567 5	17	X_{15}	0.542 3	17

$$Z_{ij} = \begin{cases} \text{正向指标: } Y_{ij}/Y_{j\max}, Y_{j\max} = \max(Y_{ij}) (i = 1, 2, \cdots, 17) (1) \\ \text{逆向指标: } Y_{j\min}/Y_{ij}, Y_{j\min} = \min(Y_{ij}) (i = 1, 2, \cdots, 17) (2) \end{cases} \circ$$

(6)

2.3.3 建立加权规范化矩阵 根据式(7)计算权重,详见表 10。

$$R_{ij} = W_j Z_{ij} \circ$$

(7)

式中: W_j 是第 j 个指标的权重 ($i = 1, 2, \cdots, 17$) ($j = 1, 2, \cdots, 11$)。加权规范化矩阵见表 11。

2.3.4 理想解与负理想解数列 根据矩阵 R 得到理想解与负理想解数列:

$$X_i^+ = \{0.072, 0.060, 0.072, 0.060, 0.076, 0.085, 0.080, 0.085, 0.105, 0.105, 0.200\};$$

$$X_i^- = \{0.052\ 6, 0, 0.061\ 6, 0.046\ 8, 0.061\ 3, 0.058\ 5, 0.055\ 2, 0.060\ 8, 0.083\ 6, 0.086\ 8, 0.126\ 0\}。$$

2.3.5 计算 C_i 值 采用欧几里德范数进行距离的测定,得到各品种与理想解的距离,并计算出各品种与理想解的相对接近度。

表 9 各参试品种的无量纲化处理结果

品种	各性状的无量纲化值										
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
X_1	0.832 0	0.000 0	0.875 5	0.989 3	0.834 1	0.888 5	0.810 0	0.787 6	0.973 3	0.907 4	0.813 1
X_2	0.919 2	0.000 0	0.875 5	0.997 1	0.907 8	0.855 7	0.692 1	0.714 9	0.950 2	0.998 5	0.792 9
X_3	0.939 5	1.000 0	0.861 7	0.930 7	0.949 3	0.785 8	0.729 3	0.856 4	0.981 3	1.000 0	0.982 2
X_4	0.990 1	1.000 0	0.872 0	0.977 2	0.811 1	0.877 6	0.768 6	0.859 2	0.992 7	0.889 3	0.886 7
X_5	0.927 1	1.000 0	0.865 1	0.972 4	0.806 5	0.890 7	0.877 7	1.000 0	0.942 9	0.907 4	1.000 0
X_6	0.936 1	1.000 0	0.858 3	1.000 0	0.852 5	0.803 3	0.779 5	0.858 5	0.891 9	0.951 0	0.851 3
X_7	0.956 5	0.000 0	0.858 3	0.917 2	0.926 3	0.688 5	0.768 6	0.739 6	0.888 0	0.967 9	0.743 0
X_8	1.000 0	1.000 0	0.858 3	0.896 4	0.907 8	0.781 4	0.759 8	0.803 5	0.935 6	0.928 9	0.816 4
X_9	0.901 9	0.000 0	0.858 3	0.941 6	0.871 0	1.000 0	0.855 9	0.933 0	1.000 0	0.881 5	0.961 2
X_{10}	0.986 7	1.000 0	0.875 5	0.875 5	0.866 4	0.819 7	0.690 0	0.775 9	0.979 3	0.857 0	0.761 6
X_{11}	0.730 4	0.000 0	0.861 7	0.870 6	0.944 7	0.950 8	0.799 1	0.823 9	0.894 3	0.928 5	0.799 8
X_{12}	0.991 1	0.000 0	0.886 2	0.942 3	0.871 0	0.713 7	0.823 1	0.892 0	0.877 3	0.936 7	0.856 9
X_{13}	0.955 2	0.000 0	0.872 0	0.963 5	0.889 4	0.830 6	0.829 7	0.767 1	0.796 1	0.944 3	0.674 2
X_{14}	0.919 0	1.000 0	1.000 0	0.785 4	1.000 0	0.907 1	1.000 0	0.733 2	0.957 5	0.857 8	0.704 5
X_{15}	0.895 5	0.000 0	0.854 9	0.848 7	0.894 0	0.765 0	0.803 5	0.741 7	0.947 0	0.836 6	0.687 0
X_{16}	0.875 5	1.000 0	0.861 7	0.852 3	0.861 8	0.819 7	0.764 2	0.845 1	0.964 5	0.854 9	0.814 5
X_{17}	0.895 5	1.000 0	0.872 0	0.780 8	0.949 3	0.885 2	0.799 1	0.739 6	0.881 2	0.827 0	0.629 9

表 10 各性状对应的权重

性状	权重
K_1	0.072
K_2	0.060
K_3	0.072
K_4	0.060
K_5	0.076
K_6	0.085
K_7	0.080
K_8	0.085
K_9	0.105
K_{10}	0.105
K_{11}	0.200

$$\begin{cases} S_i^+ = [\sum_{j=1}^n (R_{ij} - X_j^+)^2]^{1/2} \\ S_i^- = [\sum_{j=1}^n (R_{ij} - X_j^-)^2]^{1/2} \end{cases}, i = 1, 2, \cdots, 17; \quad (8)$$

$$C_i = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)}, i = 1, 2, \cdots, 17。 \quad (9)$$

由表 12 可以看出,与新冬 20 号(X_{12} 相比)有 10 个品种的综合评价价值 C_i (表示与理想解的接近程度)较高,其中玉农 1 号、济麦 22 号及众信 5189 的排名位列前 3,众信 3158、烟农 5158 及烟农 0428 排在最后 3 位;由产量排序可知,较新冬 20 号高的有 4 个品种,其中玉农 1 号依然排名第 1,济麦 22 号、众信 5189 的排名也仍靠前,玉农 2 号排名第 3。综合分析可知,玉农 1 号、济麦 22 号及众信 5189 适合作为新疆地区的推广品种,烟农 5158、烟农 0428 的综合评分较差,不宜作为推

表 11 加权规范化决策矩阵

品种	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}
X_1	0.059 9	0.000 0	0.063 0	0.059 4	0.063 4	0.075 5	0.064 8	0.066 9	0.102 2	0.095 3	0.162 6
X_2	0.066 2	0.000 0	0.063 0	0.059 8	0.069 0	0.072 7	0.055 4	0.060 8	0.099 8	0.104 8	0.158 6
X_3	0.067 6	0.060 0	0.062 0	0.055 8	0.072 1	0.066 8	0.058 3	0.072 8	0.103 0	0.105 0	0.196 4
X_4	0.071 3	0.060 0	0.062 8	0.058 6	0.061 6	0.074 6	0.061 5	0.073 0	0.104 2	0.093 4	0.177 3
X_5	0.066 7	0.060 0	0.062 3	0.058 3	0.061 3	0.075 7	0.070 2	0.085 0	0.099 0	0.095 3	0.200 0
X_6	0.067 4	0.060 0	0.061 8	0.060 0	0.064 8	0.068 3	0.062 4	0.073 0	0.093 6	0.099 9	0.170 3
X_7	0.068 9	0.000 0	0.061 8	0.055 0	0.070 4	0.058 5	0.061 5	0.062 9	0.093 2	0.101 6	0.148 6
X_8	0.072 0	0.060 0	0.061 8	0.053 8	0.069 0	0.066 4	0.060 8	0.068 3	0.098 2	0.097 5	0.163 3
X_9	0.064 9	0.000 0	0.061 8	0.056 5	0.066 2	0.085 0	0.068 5	0.079 3	0.105 0	0.092 6	0.192 2
X_{10}	0.071 0	0.060 0	0.063 0	0.052 5	0.065 8	0.069 7	0.055 2	0.066 0	0.102 8	0.090 0	0.152 3
X_{11}	0.052 6	0.000 0	0.062 0	0.052 2	0.071 8	0.080 8	0.063 9	0.070 0	0.093 9	0.097 5	0.160 0
X_{12}	0.071 4	0.000 0	0.063 8	0.056 5	0.066 2	0.060 7	0.065 9	0.075 8	0.092 1	0.098 4	0.171 4
X_{13}	0.068 8	0.000 0	0.062 8	0.057 8	0.067 6	0.070 6	0.066 4	0.065 2	0.083 6	0.099 1	0.134 8
X_{14}	0.066 2	0.060 0	0.072 0	0.047 1	0.076 0	0.077 1	0.080 0	0.062 3	0.100 5	0.090 1	0.140 9
X_{15}	0.064 5	0.000 0	0.061 6	0.050 9	0.067 9	0.065 0	0.064 3	0.063 0	0.099 4	0.087 8	0.137 4
X_{16}	0.063 0	0.060 0	0.062 0	0.051 1	0.065 5	0.069 7	0.061 1	0.071 8	0.101 3	0.089 8	0.162 9
X_{17}	0.064 5	0.060 0	0.062 8	0.046 8	0.072 1	0.075 2	0.063 9	0.062 9	0.092 5	0.086 8	0.126 0

表 12 DTOPSIS 法的计算结果

品种	S_i^+	S_i^-	C_i	C_i 排序	平均产量 (kg/hm ²)	产量排序
X_5	0.025 6	0.104 1	0.802 8	1	8 065.34	1
X_3	0.033 4	0.099 6	0.748 8	2	7 922.18	2
X_4	0.039 2	0.087 4	0.690 5	3	7 151.57	4
X_6	0.045 0	0.080 8	0.642 3	4	6 865.97	6
X_8	0.051 3	0.077 2	0.600 5	5	6 584.34	7
X_{16}	0.052 5	0.075 6	0.590 1	6	6 569.12	8
X_9	0.065 1	0.079 8	0.550 7	7	7 752.77	3
X_{10}	0.062 9	0.072 3	0.534 6	8	6 142.29	12
X_{14}	0.067 2	0.074 8	0.526 8	9	5 682.05	14
X_{17}	0.084 5	0.065 6	0.437 0	10	5 080.13	17
X_{12}	0.075 4	0.055 6	0.424 3	11	6 910.86	5
X_1	0.078 3	0.049 0	0.384 7	12	6 558.26	9
X_{11}	0.080 2	0.046 6	0.367 6	13	6 450.78	10
X_2	0.082 8	0.047 6	0.365 2	14	6 395.30	11
X_7	0.090 0	0.035 8	0.284 7	15	5 992.28	13
X_{13}	0.096 4	0.030 7	0.241 7	16	5 438.04	16
X_{15}	0.100 3	0.027 8	0.217 2	17	5 540.52	15

广品种。

2.4 2 种方法的比较

对本研究中的 DTOPSIS 法、灰色关联度分析法 2 种方法进行比较可知,其相同点主要有:(1)都是基于灰色系统理论;(2)设置理想品种或参考品种,赋予各性状权重;(3)得到关联度或 C_i ,对品种进行排序。从表 13 可以看出,2 种方法对 17 个小麦品种的筛选结果基本相同。这 2 种方法的不同点主要有:(1)计算方法不同;(2)计算结果差异不同。从表 13 可以看出,DTOPSIS 法计算结果的差异明显高于灰色关联度法,DTOPSIS 法中差异最大的为 72.94%,而灰色关联度法差异最大的为 31.38%,较大的差异有利于对品种材料的筛选。

3 讨论与结论

灰色关联度法是构建各性状优良的参考品种,通过育种

专家给出的各性状权重系数计算出各品种的关联系数,从而得到最接近参考品种的加权关联度,进而筛选出最优品种的方法^[17-19]。DTOPSIS 将品种性状分为逆向指标和正向指标,建立加权规范化决策矩阵,得到各品种与理想解的距离,距离越小则越优。该方法原理简单,无需构建参考品种,易于操作,成为科学合理且严谨的评判方法之一^[20-23]。综合运用 2 种方法进行品种的评判和筛选,可以避免单一方法评判的片面性,得到科学合理的结果。DTOPSIS 法与灰色关联度法相比,前者无需构建理想品种,但是计算方法较后者更为复杂,后者因为需要构建理想品种,并要赋予各性状权重,也需要专家给出各性状适合的值,受到的影响因素较多,对评判结果的客观性和科学性有一定影响,评判结果的差异性也不如前者显著。通过 2 个品种筛选的方法,对本研究选择的 17 个冬小麦品种进行评判,结果显示,玉农 1 号、玉农 2 号、济麦 22 号、

表 13 参试品种的 C_i 值及关联度及其排序

品种	DTOPSIS 法分析结果			品种	灰色关联度法分析结果		
	C_i	排序	与 X_5 相比的差异(%)		关联度	排序	与 X_5 相比的差异(%)
X_5	0.802 8	1	0.00	X_5	0.790 3	1	0.00
X_3	0.748 8	2	6.73	X_3	0.771 2	2	2.42
X_4	0.690 5	3	13.99	X_9	0.719 2	3	9.00
X_6	0.642 3	4	19.99	X_4	0.694 8	4	12.08
X_8	0.600 5	5	25.20	X_1	0.680 4	5	13.91
X_{16}	0.590 1	6	26.49	X_2	0.657 7	6	16.78
X_9	0.550 7	7	31.40	X_6	0.653 0	7	17.37
X_{10}	0.534 6	8	33.41	X_{12}	0.652 9	8	17.39
X_{14}	0.526 8	9	34.38	X_{16}	0.642 2	9	18.74
X_{17}	0.437 0	10	45.57	X_8	0.619 5	10	21.61
X_{12}	0.424 3	11	47.15	X_{10}	0.600 7	11	23.99
X_1	0.384 7	12	52.08	X_7	0.577 6	12	26.91
X_{11}	0.367 6	13	54.21	X_{17}	0.572 4	13	27.57
X_2	0.365 2	14	54.51	X_{11}	0.567 4	14	28.20
X_7	0.284 7	15	64.54	X_{13}	0.566 0	15	28.38
X_{13}	0.241 7	16	69.89	X_{14}	0.554 0	16	29.90
X_{15}	0.217 2	17	72.94	X_{15}	0.542 3	17	31.38

注:与 X_5 相比的差异均采用绝对值。

众信 5189 等表现优异,可以作为南疆地区冬小麦品种更新与推广的备选品种,同时青丰 1 号、烟农系列品种性状表现较差,不宜作为南疆地区的推广品种。

参考文献:

[1]王冀川,杨正华. 新疆小麦栽培研究与技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2015.

[2]冯 魁,马艳明,贾莉莉,等. 两种灌水量对冬小麦农艺性状及产量的影响[J]. 新疆农业科学,2016,53(11):1999-2007.

[3]黄剑秋,徐铁男. 杂交玉米新品种引进及综合评价[J]. 玉米科学,2006,14(增刊1):17-19.

[4]许海涛,王友华,许 波,等. 夏玉米主要农艺性状的多元回归与通径分析[J]. 农业科技通讯,2009(4):39-42.

[5]刘录祥,孙其信,王士芸. 灰色系统理论应用于作物新品种综合评估初探[J]. 中国农业科学,1989,22(3):22-27.

[6]严文学,张孝富,王德好,等. 玉米品种比较试验与综合评价[J]. 安徽农业科学,2003,31(5):825-825.

[7]高素玲,曹雯梅. 应用灰色系统理论综合评价春性小麦新品种[J]. 河南农业科学,2006(8):31-33.

[8]邵秋红,张树明,何力剑. 灰色关联度分析在冬小麦品种评价中的应用[J]. 种子,2008,27(8):93-94.

[9]刘 辉. 应用 DTOPSIS 法对棉花新品种综合评估初探[J]. 中国棉花,2001,28(8):13-15.

[10]李 进,赵 龙,梁晓玲,等. 新疆复播玉米新品种(系)综合性状评价[J]. 玉米科学,2008,16(5):42-45,49.

[11]杜 刚,刘其宁,吴学英. DTOPSIS 法和灰色关联度法在亚麻新品种综合评价中的应用比较[J]. 西南农业学报,2009,22(6):1526-1531.

[12]赵光磊,万群芳,陈耀锋,等. 对环塔里木盆地杏棉复合系统下棉花品种的综合评价[J]. 西北农业学报,2011,20(6):110-113.

[13]卢兵华,郭国锦,吕桂华,等. DTOPSIS 法在综合评价鲜食糯玉米新品种中的应用[J]. 浙江农业科学,2012(7):938-941.

[14]杨丽华,赵兴东,白亚东,等. 甘蔗品种 DTOPSIS 法综合评价[J]. 中国糖料,2014(1):40-41,43.

[15]邹永红,谭建林. 基于综合权重及投影评价模型的水稻品种筛选方法[J]. 杂交水稻,2014,29(3):78-82,87.

[16]孙玉勇,钟 坤,莫皓蓝,等. 利用 DTOPSIS 法综合评价甘蔗新品种[J]. 南方农业报,2016,47(3):348-352.

[17]孙宪印,吴 科,钱兆国,等. 灰色关联度在小麦品种(系)综合评价中的应用[J]. 内蒙古农业科技,2001(4):10-11.

[18]王艳芳,李 戈,唐 玲,等. 基于灰色关联度分析和 DTOPSIS 法的茶种质资源综合评价[J]. 中国农学通报,2017,33(10):92-99.

[19]杨 昆,吴才文,覃 伟,等. DTOPSIS 法和灰色关联度法在甘蔗新品种综合评价中的应用比较[J]. 西南农业学报,2015,28(4):1542-1547.

[20]韩志勇,廖新福,杨 斌. DTOPSIS 方法在小麦品种(系)综合评价中的应用[J]. 新疆农业科技,2006(5):10,9.

[21]燕 飞,赵 湛,李闪闪,等. 用 DTOPSIS 法综合评价陆地棉 23 个品系[J]. 棉花科学,2017,39(4):22-27.

[22]杨禹伟,陈 华,姜 波,等. 一种加工番茄品质的多性状评价方法[J]. 中国农业大学学报,2017,22(3):131-137.

[23]严志丹,王 兰,李美华,等. 基于 DTOPSIS 法的塔里木河流域棉花种植适宜性区划研究[J]. 中国农学通报,2015,31(11):210-216.