



王贺亚,罗静静,崔瑜,等.基于灰色关联度和主成分分析的塔额盆地甜菜品种的适应性分析[J].黑龙江农业科学,2024(3):12-16.

# 基于灰色关联度和主成分分析的塔额盆地甜菜品种的适应性分析

王贺亚,罗静静,崔瑜,王康,马镇南,高光瑞,王霞,王付成

(新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所(畜牧科学研究所),新疆塔城 834600)

**摘要:**为筛选适宜新疆塔额盆地种植的高产优质抗根腐病的甜菜品种,2022年在新疆兵团第九师农业科学研究所团结农场试验基地,以10个引种及1个对照品种(BETA6990)为试验材料,通过灰色关联度分析、主成分分析和相关分析法对甜菜的根腐病和根产量、含糖率、产糖量4个指标进行综合评价。结果表明,甜菜的根产量与产糖量呈现极显著正相关( $0.990\ 3^{**}$ ),但与根腐病呈现极显著负相关( $-0.932\ 5^{**}$ ),主成分分析表明,前两个主成分累积贡献率97.921 3%,能够完整地反映甜菜综合评价的主要信息。第一主成分载荷值较高的为产量和含糖量,第二主成分载荷值较高的为含糖率,方程表达式为  $F1 = -0.349\ 8\text{根腐病发病率} + 0.375\ 0\text{根产量} - 0.178\ 4\text{含糖率} + 0.336\ 0\text{产糖量}$ ,  $F2 = 0.060\ 5\text{根腐病发病率} - 0.128\ 2\text{根产量} + 1.035\ 0\text{含糖率} + 0.131\ 3\text{产糖量}$ 。塔额盆地甜菜参试品种综合排名表明,最适宜塔额盆地种植的甜菜品种为KWS5599,其次为BETA468,这两个品种都具有产量高、根腐病发病率低的优点。

**关键词:**灰色关联度;主成分分析;相关分析;甜菜;塔额盆地

全世界每年的糖产量约为1.7亿t,其中甜菜糖约占糖总产量的25%~30%<sup>[1-2]</sup>。新疆甜菜年种植面积7.3万hm<sup>2</sup>,占全国种植面积的32%左右,是新疆重要经济作物在新疆农业生产中有着重要的地位。甜菜是我国重要的产糖作物,筛选利用优异的甜菜种质资源是实现甜菜高产高糖的基础。甜菜是我国重要的糖料作物,同时也是我国北方重要的经济作物,种植区域较大<sup>[3-5]</sup>。

通过对甜菜品种进行主成分和灰色关联度分析,能够较为客观地对各性状进行综合评价,根据参试品种的综合得分对甜菜品种进行排序,这些方法广泛运用于新品种的研究<sup>[6-7]</sup>。近年来灰色关联度分析法广泛用于新品种的筛选中<sup>[7-8]</sup>,但在甜菜上的使用很少<sup>[9]</sup>。主成分分析在品种选育方向上的使用也非常广泛<sup>[10-11]</sup>,通过成分因子综合得分排名,为适宜当地新品种的选育提供科学依据。灰色关联度和主成分分析常用于玉米<sup>[12-13]</sup>和小麦<sup>[14-15]</sup>品种选育,但在甜菜品种选育上的应用较少。本研究选用11个甜菜品种为材料,利用灰色关联度、相关性、主成分分析法研究甜菜主要农艺性状间的关系,为促进甜菜品种选育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2022年4月至10月进行,将11份供试材料种植于新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所(畜牧科学研究所)团结农场试验地内,该地区属于中温带大陆性干旱气候区,年降水量290 mm,蒸发量1 600 mm,年均气温5.88℃,年有效积温2 800~3 000℃,平均无霜期130~190 d。供试土壤0~20 cm土层中含有有机质29.34 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮101.50 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷46.66 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾371.97 mg·kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 材料

供试材料为11个甜菜品种,分别为KWS5599、STM1718、ST13429、KW9174、BETA379、BETA468、KWS6661、BES2860、ST13112、ST13529和BETA6990,其中当地主栽品种BETA6990为对照,其他品种均由新疆农垦科学院甜菜所提供。

### 1.3 方法

**1.3.1 试验设计** 试验采用随机排列,3次重复,小区面积20 m<sup>2</sup>,小区长度10 m,小区宽2 m,等行距50 cm,行株距19 cm,走道60 cm。按常规方式进行田间管理。

收稿日期:2024-01-17

基金项目:新疆生产建设兵团九师科技攻关项目(2022JS001,2020JS001)。

第一作者:王贺亚(1992—),男,学士,助理研究员,从事作物栽培与水肥一体化研究。E-mail:1209399827@qq.com。

通信作者:罗静静(1989—),女,硕士,副研究员,从事作物栽培及病虫害防治研究。E-mail:860220521@qq.com。

1.3.2 测定项目及方法 根腐病:根腐病调查在收获时进行,以整个试验小区的植株为调查对象,每个试验区随机取样 20 株,调查每株甜菜块根的发病症状,记载病株数及病级。

根产量:小区全区实收测产。

含糖率:每区取 10 株甜菜块根采用手持折光仪进行测定。

1.3.3 数据分析 对试验数据利用 Excel 2016 软件进行录入和处理,使用 SPSS 21.0 统计软件进行相关分析、主成分分析和灰色关联度分析,综合评价参试甜菜品种的品质性状。

## 2 结果与分析

### 2.1 原始数据

由表 1 可知,根腐病发病率的变化范围较大,为 3.33%~23.33%,最高的品种为 ST13529,最低的为 BETA468;根产量差异也较大,其中 KWS5599 最高,为 80 166.51 kg·hm<sup>-2</sup>,KW9174 产量最低,为 21 188.56 kg·hm<sup>-2</sup>。同样甜菜的产糖量之间也有很大的差异,最高为 10 570.51 kg·hm<sup>-2</sup>,最低为 2 278.04 kg·hm<sup>-2</sup>。表明参试的甜菜品种在根腐病、根产量、含糖率和产糖量 4 个指标上存在很大的差异。

表 1 甜菜原始数据

品种	根腐病发病率/%	根产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	含糖率/%	产糖量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
KWS5599	5.33	80166.51	12.81	10269.06
STM1718	20.00	29463.97	10.52	3099.28
ST13429	16.67	31851.59	13.56	4318.01
KW9174	18.67	21188.56	10.75	2278.04
BETA379	7.33	75353.77	12.51	9427.41
BETA468	3.33	77216.36	13.69	10570.51
KWS6661	10.00	55740.29	12.17	6785.45
BES2860	12.00	41709.59	11.97	4992.05
ST13112	13.33	37751.89	14.37	5424.97
ST13529	23.33	26076.30	13.11	3418.20
BETA6990(CK)	8.00	77031.35	12.33	9496.63

### 2.2 对数据进行无量纲化

由于甜菜 4 个指标值差异较大并且单位不统一,需要根据表 1 的数据进行无量纲化处理,结果见表 2。

表 2 数据无量纲化处理结果

品种	根腐病发病率	根产量	含糖率	产糖量
KWS5599	0.23	1.00	0.89	0.97
STM1718	0.86	0.37	0.73	0.29
ST13429	0.71	0.40	0.94	0.41
KW9174	0.80	0.26	0.75	0.22
BETA379	0.31	0.94	0.87	0.89
BETA468	0.14	0.96	0.95	1.00
KWS6661	0.43	0.70	0.85	0.64
BES2860	0.51	0.52	0.83	0.47
ST13112	0.57	0.47	1.00	0.51
ST13529	1.00	0.33	0.91	0.32
BETA6990(CK)	0.34	0.96	0.86	0.90

### 2.3 计算绝对差序

根据表 2 的无量纲化数据,计算甜菜参试品

种与比较数列之间的差序,并得出最大差序值与最小差序值,结果见表 3。由表 3 可知 11 个甜菜品种,maxΔ=0.86,minΔ=0。

表 3 差序列的两级差

品种	根腐病发病率	根产量	含糖率	产糖量
KWS5599	0.77	0.00	0.11	0.03
STM1718	0.14	0.63	0.27	0.71
ST13429	0.29	0.60	0.06	0.59
KW9174	0.20	0.74	0.25	0.78
BETA379	0.69	0.06	0.13	0.11
BETA468	0.86	0.04	0.05	0.00
KWS6661	0.57	0.30	0.15	0.36
BES2860	0.49	0.48	0.17	0.53
ST13112	0.43	0.53	0.00	0.49
ST13529	0.00	0.67	0.09	0.68
BETA6990(CK)	0.66	0.04	0.14	0.10
maxΔ=0.86,minΔ=0				

### 2.4 灰色关联系数、关联度及权重

分辨率 ρ=0.5,将表 3 的数据进行灰色关联度分析,求出比较品种与各指标数列之间的灰色

关联系数(表 4)。关联度结果分析,关联度越大的甜菜品种就越好,适宜本地区种植,相反关联度越小,不适宜本地区种植。

表 4 主要性状的关联系数

品种	根腐病	根产量	含糖率	产糖量
KWS5599	0.574	0.370	0.707	0.387
STM1718	0.474	0.519	0.396	0.485
ST13429	0.728	0.487	0.619	0.539
KW9174	0.483	0.451	0.468	0.461
BETA379	0.602	0.439	1.000	0.475
BETA468	0.546	0.365	0.431	0.344
KWS6661	0.649	0.969	0.695	0.952
BES2860	0.730	0.580	0.567	0.560
ST13112	0.851	0.519	0.463	0.612
ST13529	0.400	0.463	0.692	0.496
BETA6990(CK)	0.613	0.437	0.893	0.482
关联度	0.604	0.509	0.630	0.527
权重/%	25.350	24.050	26.550	24.040

2.5 各指标间的相关系数矩阵

由表 5 可知,对参试品种的指标进行相关分析,根腐病发病率与其他 3 个指标均存在负相关,其中根腐病发病率与根产量和产糖量均呈现极显著负相关,相关系数分别为-0.932 5\*\* 和-0.940 2\*\* ,

表 6 主要性状的主成分分析

主成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%
1	3.0642	76.6047	76.6047	3.0642	76.6047	76.6047	2.8518	71.2938	71.2938
2	0.8527	21.3166	97.9213	0.8527	21.3166	97.9213	1.0651	26.6276	97.9213
3	0.0817	2.0433	99.9646						
4	0.0014	0.0354	100.0000						

表 7 主要性状的成分矩阵

指标	主成分 1	主成分 2
根腐病发病率	-0.9617	0.1415
根产量	0.9706	-0.2030
含糖率	0.4633	0.8862
产糖量	0.9912	-0.0781

2.7 11 个甜菜品种的综合评价

结合表 7 和表 8,全面构建甜菜主要性状指标的分析评估模型。得出前两个主成分的函数表达式为: $F1=-0.349\ 8$  根腐病发病率 $+0.375\ 0$  根产量 $-0.178\ 4$  含糖率 $+0.336\ 0$  产糖量; $F2=0.060\ 5$  根腐病发病率 $-0.128\ 2$  根产量 $+1.035\ 0$  含糖率 $+0.131\ 3$  产糖量。

说明根腐病越严重产量及产糖量越低;根产量和产糖量呈现极显著正相关(0.990 3\*\*),与含糖率正相关(0.270 0),说明根产量越高,产糖量越高,产糖量由根产量决定,受含糖率的影响较小;因此,为了提高产糖量需要提高根产量。

表 5 主要性状的相关性分析

项目	根腐病发病率	根产量	含糖率	产糖量
根腐病发病率	1.0000			
根产量	-0.9325**	1.0000		
含糖率	-0.3201	0.2700	1.0000	
产糖量	-0.9402**	0.9903**	0.3900	1.0000

注:\*\*表示在 0.01 水平显著相关。

2.6 各主要性状的主成分分析

通过 11 个甜菜品种的 4 个指标进行主成分分析(表 6 和表 7)可知,前两个主成分贡献率达 97.921 3%,第一主成分的贡献率为 76.604 7%,特征值为 3.064 2,第一主成分载荷较高的是根产量和产糖量;第二主成分的贡献率为 21.316 6%,特征值为 0.852 7,第二主成分载荷较高的为含糖率。前两个主成分累积贡献率 97.921 3%,能够完整地反映甜菜综合评价的主要信息。

表 8 主要性状的主成分系数

指标	主成分 1	主成分 2
根腐病发病率	-0.3498	0.0605
根产量	0.3750	-0.1282
含糖率	-0.1784	1.0350
产糖量	0.3360	0.1313

依据主成分得分综合模型,统计 11 个油菜品种成分得分、综合得分和排名(表 9),分值越高,说明该甜菜品种综合性状越好,各参试品种的综合排名存在较大差异,对照 CK 的综合排名为 3,高于对照的品种为 KWS5599 和 BETA468,说明这两个品种表现较好,在塔额盆地适应性强,产量高。

表 9 参试品种的综合得分

品种	主成分得分				综合得分	排名
	F1	F2	F3	F4		
KWS5599	2.2041	-0.3445	0.1146	0.0079	39685.46	1
STM1718	-2.2864	-1.2273	0.1699	0.0246	14054.13	9
ST13429	-0.9800	1.2268	-0.0694	-0.0186	15947.47	8
KW9174	-2.4784	-0.9584	-0.2723	0.0406	10144.14	11
BETA379	1.6733	-0.4791	0.1807	-0.0200	37127.28	4
BETA468	2.5738	0.3777	-0.1715	0.0857	38753.36	2
KWS6661	0.3577	-0.4330	-0.1802	-0.0454	27316.71	5
BES2860	-0.5628	-0.3636	-0.4145	-0.0424	20373.34	6
ST13112	-0.1316	1.7452	-0.2585	-0.0082	19142.90	7
ST13529	-1.9963	1.0910	0.5898	0.0097	12959.69	10
BETA6990(CK)	1.6265	-0.6347	0.3114	-0.0339	37844.21	3

3 讨论

用灰色关联度分析方法对塔额盆地 11 个甜菜品种进行分析,与钱建南等<sup>[16]</sup>对水稻进行分析的方法相同。主成分分析方法与李慧琳等<sup>[17]</sup>对食葵的分析方法相同,本文增加了主成分分析对甜菜各品种的综合排名分析,使结论更直接且更有说服力。通过最佳排名和对照品种比较,筛选出塔额盆地最优的种植品种,这与鲁兆新等<sup>[18]</sup>研究方法基本一致,通过分析甜菜各性状的综合得分确定最佳甜菜品种。

与林明等<sup>[19-21]</sup>研究目的基本相同,都以育种为目的对甜菜品种适用性进行分析,最终结果以产量高,产糖量高的品种为主,本研究相较于前人研究基础上增加了当地主要病害甜菜根腐病的性状指标,这也是利用灰色关联和主成分分析方法对甜菜品种筛选的新方法。

灰色关联度可将样本最小化,从而能够得到最大的信息,而主成分分析法可以将有限信息的利用发挥到最大化,避免重复信息的干扰<sup>[22-23]</sup>。本研究结合灰色关联度和主成分两种分析方法,用于筛选甜菜抗病性和高产性状具有明显优势,使试验结果更加科学。

根据相关分析,甜菜的根产量与产糖量呈现极显著正相关(0.990 3\*\*),但与根腐病呈现极显著负相关(-0.932 5\*\*),这与张自强等<sup>[23]</sup>试验研究结果一致,甜菜产糖量的提高需要提高根产量。主成分分析表明,前两个主成分累积贡献率 97.921 3%,能够完整地反映甜菜综合评价的

主要信息。第一主成分载荷值较高的产量和含糖量,第二主成分载荷值较高为含糖率,方程表达式为: $F1=-0.349\ 8$ 根腐病发病率 $+0.375\ 0$ 根产量 $-0.178\ 4$ 含糖率 $+0.336\ 0$ 产糖量, $F2=0.060\ 5$ 根腐病发病率 $-0.128\ 2$ 根产量 $+1.035\ 0$ 含糖率 $+0.131\ 3$ 产糖量。11 个甜菜品种得分综合模型,综合排名高于对照的品种为 KWS5599 和 BETA468,说明这两个品种表现较好,在塔额盆地适应性强,产量高。

4 结论

本研究采用相关分析、主成分和灰色关联度分析,优先筛选出产量高且耐病的甜菜品种,试验结果表明,主成分和灰色关联度分析相结合,可以作为筛选适宜当地种植高产、抗病甜菜品种的科学分析方法。针对塔额盆地种植情况,结合两种分析方法,对 11 个甜菜品种的抗病性、产量指标进行综合分析得出,最适宜塔额盆地种植的甜菜品种为 KWS5599,其次为 BETA468,两个品种都具有产量高、根腐病发病率低的优点。

参考文献:

[1] BUTORINA A K, KORNIENKO A V. Molecular genetic investigation of sugar beet (*Beta vulgaris* L.)[J]. Genetika, 2011, 47(10): 1285-1296.

[2] DOHM J C, MINOCHE A E, HOLTGRÄWE D, et al. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*) [J]. Nature, 2014, 505 (7484): 546-549.

[3] 崔平. 甜菜种质资源遗传多样性研究与利用[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(4): 688-691.

[4] 鄂圆圆,白晨,张惠忠,等. 华北区甜菜种质资源的收集、鉴

- 定、评价[J]. 内蒙古农业科技, 2015, 43(1): 17-18.
- [5] 郭亚宁, 兴旺, 周建朝, 等. 甜菜核心种质构建研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(24): 41-46.
- [6] 董玉良. 基于灰色关联度对山东小麦新品种(系)综合评价分析[J]. 现代农业研究, 2020, 26(9): 77-78.
- [7] 宋志美, 刘乃雁, 王元英, 等. 灰色关联度法在烤烟品种重要性状综合评价中的运用[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(2): 17-19, 23.
- [8] 杨涛, 周琴, 姜东, 等. 灰色关联分析法在不同小麦品种饼干品质评价中的应用[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(4): 464-472.
- [9] 马炳美. 灰色关联度分析在桂花品种评价中的应用[J]. 福建林业科技, 2020, 47(2): 106-108, 115.
- [10] 景芳, 任生兰, 边芳, 等. 16 个燕麦品种在甘肃陇中地区的适应性评价与筛选[J]. 中国草地学报, 2023, 45(1): 68-76.
- [11] 任晓琴, 文昊, 薛晓琦, 等. 基于主成分分析的 10 个葡萄品种果实营养成分比较[J]. 天津农学院学报, 2022, 29(4): 13-16.
- [12] 魏常敏, 周文伟, 许卫猛, 等. 基于主成分和灰色关联度分析的鲜食糯玉米组合综合评价[J]. 贵州农业科学, 2020, 48(7): 9-13.
- [13] 范继征, 石达金, 吕巨智, 等. 基于关联度、主成分和聚类分析的西南区玉米新组合评价[J]. 种子, 2020, 39(1): 102-110.
- [14] 张凡, 薛鑫, 刘国涛, 等. 基于灰色关联度分析法和聚类分析法筛选小麦高产优质新品种(系)的研究[J]. 中国农学通报, 2020, 36(27): 6-13.
- [15] 杨芳, 张成, 乔岩. 陇东旱地冬小麦新品系产量与农艺性状的灰色关联度及主成分分析[J]. 陇东学院学报, 2015, 26(1): 4-9.
- [16] 钱建南, 丁颖, 李玉杨, 等. 14 个水稻品种产量与农艺性状的灰色关联度分析[J]. 大麦与谷类科学, 2022, 39(5): 37-41.
- [17] 李慧琳, 向依, 于二汝, 等. 贵州食葵种质资源农艺性状主成分和聚类分析[J]. 种子, 2022, 41(12): 98-105.
- [18] 鲁兆新, 罗成飞, 史淑芝, 等. 对甜菜产量、含糖与农艺性状的灰色关联度分析(二)[J]. 中国甜菜糖业, 2011(4): 3-5.
- [19] 林明, 王荣华, 曹禹, 等. 基于光合性状和农艺性状评价不同甜菜品种的生态稳定性[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(2): 43-58.
- [20] 陈柳宏, 赵春雷, 王希, 等. 我国东北地区 205 份主要甜菜种质资源的鉴定与评价分析[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 92-105.
- [21] 陈彦云, 曹君迈. 甜菜抗(耐)丛根病杂交组合品种的灰色关联度分析[J]. 中国甜菜糖业, 2001(4): 38-40.
- [22] 苏欣欣, 肖洋, 胡晓航, 等. 基于灰色关联度分析和主成分分析法评估糖用甜菜品种的适应性[J]. 中国农学通报, 2021, 37(30): 39-46.
- [23] 张自强, 王良, 白晨, 等. 104 份甜菜种质资源主要农艺性状分析[J]. 作物杂志, 2019(3): 29-36.

## Adaptability of Sugar Beet Varieties in Ta'e Basin Based on Grey Correlation Degree and Principal Component Analysis

WANG Heya, LUO Jingjing, CUI Yu, WANG Kang, MA Zhenan, GAO Guangrui, WANG Xia, WANG Fucheng

(Agricultural Science Institute (Institute of Animal Science) of the Ninth Division of the Xinjiang Production and Construction Corps, Tacheng 834600, China)

**Abstract:** In order to screen high-yield and high-quality root rot resistant sugar beet varieties suitable for planting in Ta'e Basin, Xinjiang. In 2022, 10 introduced seeds and one control variety (BETA6990) were used as test materials in the Unity Farm Experimental Base of the Institute of Agricultural Sciences of the Ninth Division of the Xinjiang Corps to comprehensively evaluate the root rot and root yield, sugar content and sugar yield of sugar beet by gray correlation analysis, principal component analysis and correlation analysis. The results showed that the root yield and sugar yield of sugar beet were positively correlated ( $0.9903^{**}$ ), but negatively correlated with root rot ( $-0.9325^{**}$ ), and the principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first two principal components was 97.9213%, which could fully reflect the main information of the comprehensive evaluation of sugar beet. The first principal component load value was higher yield and sugar content, the second principal component load value was higher for sugar content, the equation expression was:  $F1 = -0.3498 \text{ root rot} + 0.3750 \text{ root yield} - 0.1784 \text{ sugar content} + 0.3360 \text{ sugar yield}$ ,  $F2 = 0.0605 \text{ root rot} - 0.1282 \text{ root yield} + 1.0350 \text{ sugar content} + 0.1313 \text{ sugar yield}$ . The experimental results showed that the most suitable varieties for planting in the Taege Basin was KWS5599, followed by BETA468, and both varieties have the advantages of high yield and low disease rate.

**Keywords:** grey correlation; principal component analysis; correlation analysis; sugar beet; Ta'e Basin