



基于主成分、聚类分析和灰色关联度分析的超甜玉米杂交组合综合评价

王俊花, 闫建宾, 王瑞钢

(山西省农业科学院高粱研究所, 山西晋中 030600)

摘要:【目的】对超甜玉米杂交组合进行综合评价,为筛选优良超甜玉米杂交组合提供理论参考。【方法】对26个超甜玉米杂交组合和晋超甜一号(对照,CK)的9个农艺性状、品质及产量进行遗传变异分析,并利用主成分分析法、系统聚类分析法及灰色关联度分析法对超甜玉米杂交组合进行综合评价。【结果】26个超甜玉米杂交组合的性状差异较大,变异丰富,变异系数为6.25%~74.44%,其中,以秃尖长的变异系数最大,穗粗的变异系数最小。通过主成分分析发现,前5个主成分(产量因子、品质因子、穗行数因子、秃尖长因子和生育期因子)累计贡献率为87.7414%,可代表11个性状所反映的遗传信息,且筛选出综合得分高于CK的杂交组合,依次为TJ22、TJ3、TJ17、TJ15、TJ10、TJ11、TJ19和TJ12。通过聚类分析发现,26个超甜玉米杂交组合可聚成三大类群,第I和II类群又分别聚成2个亚类群,其中第II和III类群的产量和品质明显优于第I类群。通过灰色关联度分析发现,穗粗、行粒数和穗长对品质影响较大,单穗重、穗粗和行粒数对产量影响较大,穗位高和秃尖长对品质和产量的影响均较小,且筛选出与参考品种关联度排名前10位的杂交组合,依次为TJ22、TJ3、TJ15、TJ17、TJ11、TJ10、TJ19、TJ12、TJ4和TJ26,均高于参考品种与CK的关联度。通过主成分分析筛选出的8个优良杂交组合和通过灰色关联度分析筛选出的10个优良杂交组合均处在第II和III类群。【结论】筛选出的8个产量高、品质优、综合性状好的杂交组合(TJ22、TJ3、TJ17、TJ15、TJ10、TJ11、TJ19和TJ12),可进行单地点品种比较试验。第II和III类群的其他组合还需通过杂交或回交进一步改良。

关键词: 超甜玉米; 品质; 产量; 性状; 主成分分析; 聚类分析; 灰色关联度分析; 综合评价

中图分类号: S513

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2020)05-1108-07

Comprehensive evaluation of super sweet maize cross combinations based on principal component analysis, cluster analysis and gray correlation analysis

WANG Jun-hua, YAN Jian-bin, WANG Rui-gang

(Sorghum Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Jinzhong, Shanxi 030600, China)

Abstract: 【Objective】To provide theoretical reference for screening fine super sweet corn hybrids, comprehensive evaluation of super sweet corn cross combinations was conducted. 【Method】The genetic variation of 9 agronomic characters, quality and yield of 26 super sweet maize cross combinations and Jinchaotian 1 (control, CK) were analyzed, and principal component analysis, system cluster analysis and grey correlation analysis were used to evaluate the hybrid combinations of super sweet corn. 【Result】Characteristics of 26 super sweet maize cross combinations had large differences and abundant variations, and the variation coefficient was from 6.25% to 74.44%. Among them, the variation coefficient of bald tip length was the largest, and that of ear diameter was the smallest. According to the principal component analysis, the cumulative contribution rate of the first five principal components (yield factor, quality factor, ear row number factor, bald tip length factor and growth period factor) was 87.7414%, which could represent the genetic information of 11 characters. The hybrid combinations with higher comprehensive scores than CK were selected, they were TJ22, TJ3, TJ17, TJ15, TJ10, TJ11, TJ19 and TJ12. Through cluster analysis, 26 super sweet cross combinations were grouped into three groups, I and II were divided into two subgroups respectively. The yield and quality of groups II and III were better than that of group I. Grey correlation analysis showed that ear diameter, row grain number and ear length had great influence on the quality of super sweet maize; single ear weight, ear diameter and grain number per row had great influence on yield. Ear height and bald tip length had little effect on quality and yield. The top 10 cross combinations were TJ22,

收稿日期: 2020-03-12

基金项目: 山西省重点研发计划重点项目(201703D211009); 山西省农业科学院生物育种工程项目(17yzgc027)

作者简介: 王俊花(1973-), 副研究员, 主要从事鲜食玉米育种及栽培研究工作, E-mail: wangjunhua73@163.com

TJ3, TJ15, TJ17, TJ11, TJ10, TJ19, TJ12, TJ4 and TJ26, whose correlation with reference varieties were all higher than correlation between reference varieties and CK. Eight excellent combinations selected by principal component analysis and ten excellent combinations selected by grey relational grade analysis were all in groups II and III. 【Conclusion】Selected eight excellent hybrid combinations(TJ22, TJ3, TJ17, TJ15, TJ10, TJ11, TJ19 and TJ12) with high yield, good quality and good comprehensive characters can be carried out single site variety comparison test. Other combinations of groups II and III need to be improved by crossing or backcrossing.

Key words: super sweet maize; quality; yield; characteristics; principal component analysis; cluster analysis; gray correlation analysis; comprehensive evaluation

Foundation item: Key Project of Shanxi Key Research and Development Plan(201703D211009); Biological Breeding Project of Shanxi Academy of Agricultural Sciences(17yzgc027)

0 引言

【研究意义】超甜玉米因其鲜果穗乳熟期籽粒糖含量高、营养丰富、风味好,深受消费者青睐,且生长期短,采收期和贮藏期可达1周左右,可满足不同种植方式的需要,种植效益高,是发展城郊型农业和增加农民收入的有效途径之一(Wang et al., 2015)。山西省超甜玉米育种起步较晚,自育的优良品种较少,为选出高产优质的杂交种,选育并筛选出高产优质、综合性状优良的超甜玉米组合就显得尤为重要。目前作物杂交组合综合评价主要采用主成分分析、聚类分析和灰色关联度分析法(林永明等, 2015; 倪正斌等, 2017; 贺礼英等, 2018; 郑本川等, 2019), 现已广泛应用于多种作物遗传育种中。因此,基于这3种分析方法的超甜玉米杂交组合综合评价对超甜玉米杂交育种具有重要的指导意义。【前人研究进展】董海合等(2005)通过主成分分析发现,36个普通甜玉米品种前5个主成分(生育期因子、糖分因子、赖氨酸因子、口感因子、鲜果穗产量和外观品质因子)的累积贡献率达85.51%。赵文明等(2010)采用灰色关联度分析法研究鲜食糯玉米品质与6个品质性状的关联度,结果表明糯性、皮厚薄、柔嫩性与品质的灰色关联作用较大。林颢文等(2012)通过聚类分析发现,35个超甜玉米杂交种聚成两大类群,又可划分为4个亚群。和凤美等(2014a, 2014b)通过主成分分析发现,30个甜玉米自交系前4个主成分(产量因子、叶片数因子、秃尖长因子和穗行数因子)对变异的累积贡献率达86.85%;30个超甜玉米自交系前7个主成分(产量因子、穗行数因子、穗粗因子、粒重因子、株高因子、茎粗因子和秃尖长因子)对变异的累计贡献率达89.82%。刘翔宇等(2016)利用主成分分析法和灰色关联度分析法筛选出甜高粱新品系TTL-32、TTL-29、TTL-27和TTL-30。税红霞等(2016)通过灰色关联度分析发现,甜玉米穗行数与水溶性总糖含量关联度最大。陈冰洁等(2017)通过主成分分析发现,鲜食糯玉米品种评判指标主要为果穗大,穗粗且轴

细,株高较高。褚能明等(2017)对鲜食甜糯玉米挥发性风味成分进行主成分分析,结果显示粤甜16号主要挥发性风味成分是金合欢醇、雪松醇和辛酸。陈荣丽等(2018)研究甜玉米的农艺性状与鲜穗产量关联度,结果表明穗粗是影响甜玉米鲜穗产量的主要因素。莫云锦等(2019)研究发现,株高是甜玉米鲜穗产量的主要影响因素,秃尖长对鲜穗产量影响最小。滕迁莹等(2019)通过聚类分析发现,基于表型性状,50份甜玉米自交系可聚成四大类群。张振良等(2019)通过主成分分析发现,50个甜糯玉米组合可聚成四大类群,前5个主成分的累计贡献率达89.42%。【本研究切入点】目前,采用主成分分析法、聚类分析法和灰色关联度分析法对超甜玉米杂交组合的农艺性状、产量和品质进行综合评价的研究鲜见报道。【拟解决的关键问题】采用主成分分析法、聚类分析法和灰色关联度分析法对26个超甜玉米杂交组合的生育期、株高、单穗重、穗位高、穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、品质和产量进行综合评价,以期对超甜玉米杂交组合综合评价及目标性状选择提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从山西省农业科学院高粱研究所甜糯玉米课题组2018年配制的超甜玉米杂交组合中剔除田间出苗率低、抗病抗逆性差、倒伏倒折率高和果穗露尖的组合,剩余26个作为供试材料(TJ1~TJ26),以晋超甜一号为对照(CK)。

1.2 试验方法

试验于2019年在山西省农业科学院高粱研究所修文试验基地(海拔700 m,年活动积温3410 ℃,前茬高粱)进行。采用随机区组设计,小区区长7.7 m、宽2.6 m,每小区5行,设3次重复。4月30日播种,5月16日田间苗,5月22日定苗,种植密度52500株/ha,播种前撒施毒土杀灭地下害虫1次,基肥(牛粪肥)750 kg/ha,种肥(三元复合肥)750 kg/ha。分别于6月25日和7月

表 1 供试材料的11个性状指标测定结果

Table 1 Detection of 11 characteristics indexes of test materials

组合编号 Combination code	指标 Index										
	X_1 (d)	X_2 (cm)	X_3 (cm)	X_4 (g)	X_5 (cm)	X_6 (cm)	X_7 (cm)	X_8 (行)(row)	X_9 (粒)(grain)	X_{10} (分)(score)	X_{11} (kg/ha)
TJ1	82	240	85	240	18.0	4.8	0.2	18.0	33	70	14610.0
TJ2	82	230	80	245	19.8	4.1	0.0	14.0	40	55	14317.5
TJ3	86	260	100	380	22.5	4.8	0.5	14.0	50	82	18081.0
TJ4	89	265	98	336	22.0	4.9	2.0	17.4	43	65	16554.6
TJ5	81	245	100	298	21.8	4.8	2.8	16.0	42	78	14623.5
TJ6	75	263	118	300	21.5	4.9	2.5	16.0	41	80	15007.5
TJ7	90	293	135	264	23.2	4.6	3.8	14.0	40	70	13540.5
TJ8	92	225	90	248	23.0	4.3	3.0	16.0	45	82	12979.5
TJ9	85	215	65	207	19.5	4.8	1.0	16.0	38	75	10860.0
TJ10	90	283	105	334	22.8	5.0	1.6	18.0	43	72	16621.1
TJ11	100	213	74	332	21.3	5.1	0.0	14.0	43	87	17700.0
TJ12	88	225	72	310	22.1	5.0	1.6	16.0	44	85	16560.0
TJ13	102	190	80	232	22.0	4.6	0.5	18.0	40	77	12238.5
TJ14	79	240	70	308	23.5	5.2	0.0	15.4	42	82	15323.0
TJ15	84	245	87	338	21.4	5.1	2.8	17.4	43	85	16553.1
TJ16	79	155	50	192	18.8	4.2	0.0	16.0	40	87	10257.0
TJ17	101	250	135	302	22.3	5.0	0.0	12.0	53	88	15864.0
TJ18	67	181	57	244	21.0	4.5	0.0	16.0	38	89	12205.5
TJ19	69	208	71	332	24.0	5.1	0.8	16.0	41	84	16525.5
TJ20	65	166	52	242	20.3	4.2	0.0	16.0	40	92	12456.0
TJ21	97	250	90	292	21.2	4.6	0.0	14.0	38	80	17353.5
TJ22	98	265	110	338	24.5	4.7	0.4	16.0	48	87	17884.5
TJ23	80	160	50	246	18.7	4.7	0.0	16.0	42	80	15232.5
TJ24	82	158	45	188	17.0	4.7	0.0	16.0	34	85	11632.5
TJ25	85	230	86	312	21.1	4.9	0.9	15.6	42	85	16039.5
TJ26	87	223	85	307	22.1	5.1	0.2	16.8	42	80	16395.0
CK	85	240	85	312	21.9	4.9	0.3	16.0	46	82	16276.5

X_1 : 生育期; X_2 : 株高; X_3 : 穗位高; X_4 : 单穗重; X_5 : 穗长; X_6 : 穗粗; X_7 : 秃尖长; X_8 : 穗行数; X_9 : 行粒数; X_{10} : 品质; X_{11} : 产量。表2、表3和表5同

X_1 : Growth period; X_2 : Plant height; X_3 : Ear height; X_4 : Single ear weight; X_5 : Ear length; X_6 : Ear diameter; X_7 : Bald tip length; X_8 : Ear row number; X_9 : Kernels per row; X_{10} : Quality; X_{11} : Yield. The same was applied in Table 2, Table 3 and Table 5

14日灌溉2次,其他管理同常规鲜食玉米。

于乳熟期每小区随机收获10株用于考种。按《国家玉米品种试验调查标准》调查生育期(X_1)、株高(X_2)、穗位高(X_3)、单穗重(X_4)、穗长(X_5)、穗粗(X_6)、秃尖长(X_7)、穗行数(X_8)、行粒数(X_9)、品质(X_{10})和产量(X_{11})等11个性状,其中,前9个为农艺性状,品质性状(X_{10})包括鲜果穗的外观品质和蒸煮品质,指标评价方法按照我国农业农村部NY/T 523—2002《甜玉米》行业标准进行。

1.3 统计分析

采用Excel 2003进行数据统计及灰色关联度分析,利用DPS 7.05进行各性状的主成分分析和聚类分析。以供试材料11个性状的最大值建立参考数列(品种),数据无量纲处理后(林永明等,2015),用加权平均法(刘翔宇等,2016)计算供试材料的加权关联度。

2 结果与分析

2.1 性状变异分析结果

26个杂交组合的农艺性状、产量及品质测定结果如表1所示。由表2可知,超甜玉米杂交组合的性

状差异较大,变异系数为6.25%~74.44%,其中,秃尖长(X_7)的变异系数最大,为74.44%;行粒数(X_9)、品质(X_{10})、生育期(X_1)、产量(X_{11})、株高(X_2)、单穗重(X_4)和穗位高(X_3)的变异系数为10.12%~28.35%;穗行数(X_8)、穗长(X_5)和穗粗(X_6)的变异系数较小,分别为8.92%、8.46%和6.25%。可见,秃尖长(X_7)选育潜力最大,穗粗(X_6)选育潜力最小。

2.2 主成分分析结果

对超甜玉米杂交组合11个性状指标进行主成分分析,根据累计贡献率 $\geq 85.00\%$ 具有代表性原则,提取了前5个主成分,累计贡献率为87.7414%(表3),可代表11个性状所反映的遗传信息。第1主成分特征值4.7919,贡献率43.5623%,权重系数最大,说明其综合原有变量的能力最强,其中,单穗重(X_4)、株高(X_2)、穗位高(X_3)和产量(X_{11})权重系数均较大,尤其以单穗重(X_4)为最大,因此,第1主成分可综合为产量因子,是杂交组合评判的主要指标。第2主成分特征值1.8127,贡献率16.4787%,品质(X_{10})的权重系数最大,为0.5811,因此第2主成分为品质因子,是杂交组合评判的第二指标。第3主成分特征值1.3754,贡

表 2 供试材料的性状变异分析结果

Table 2 Variation analysis of main characteristics of test materials

性状 Characteristic	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	平均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数(%) Coefficient of variation
X_1 (d)	102	65	37	85.2	9.67	11.35
X_2 (cm)	293	155	138	226.6	37.91	16.73
X_3 (cm)	135	45	90	84.3	23.90	28.35
X_4 (g)	380	188	192	284.0	50.15	17.66
X_5 (cm)	24.5	17.0	7.5	21.4	1.81	8.46
X_6 (cm)	5.2	4.1	1.1	4.8	0.30	6.25
X_7 (cm)	3.8	0.0	3.8	0.9	0.67	74.44
X_8 (行)(row)	18.0	12.0	6.0	15.8	1.41	8.92
X_9 (粒)(grain)	53	33	20	41.9	4.24	10.12
X_{10} (分)(score)	92	55	37	80.1	8.13	10.15
X_{11} (kg/ha)	18081.0	10257.0	7824.0	14951.5	2220.60	14.85

献率12.5041%，穗行数(X_8)权重系数最大，穗粗(X_6)次之，因此第3主成分为穗行数因子，穗行数是单穗产量重要影响因子之一。第4主成分特征值0.9721，贡献率8.8370%，秃尖长(X_7)权重系数最大，因此第4主成分为秃尖长因子；秃尖长影响鲜食糯玉米的果穗外观和鲜穗等级，在组合评价和选育时，秃尖长度应尽量小。第5主成分特征值0.6995，贡献率6.3593%，生育期(X_1)权重系数最大，因此第5主成分为生育期因子，育种过程中可按照育种目标或当地有效积温来定。前5个主成分的函数表达式：

$$Y_1=0.2325X_1+0.3906X_2+0.3732X_3+0.4025X_4+0.3634X_5+0.2618X_6-0.1778X_7+0.1147X_8+0.3302X_9-0.0333X_{10}+0.3695X_{11} \quad (1)$$

$$Y_2=-0.0498X_1-0.3145X_2-0.2749X_3+0.1856X_4+0.0483X_5+0.1941X_6-0.4815X_7-0.2307X_8+0.2832X_9+0.5811X_{10}+0.2137X_{11} \quad (2)$$

$$Y_3=-0.3534X_1-0.0013X_2-0.2250X_3+0.2429X_4+0.0489X_5+0.4695X_6+0.1378X_7+0.6532X_8-0.2526X_9+0.0572X_{10}+0.1730X_{11} \quad (3)$$

$$Y_4=-0.3940X_1-0.0686X_2+0.0855X_3-0.0426X_4+0.3631X_5-0.2294X_6+0.5208X_7-0.0083X_8+0.2241X_9+0.4682X_{10}-0.3252X_{11} \quad (4)$$

$$Y_5=0.7511X_1-0.1558X_2+0.0161X_3-0.2189X_4+0.0331X_5+0.1531X_6+0.1289X_7+0.4165X_8+0.0891X_9+0.3102X_{10}-0.2113X_{11} \quad (5)$$

分别以5个主成分的贡献率为权重，构建主成分综合评价模型公式(潘天遵等, 2016): $F=0.436Z_1+0.165Z_2+0.125Z_3+0.088Z_4+0.064Z_5$ ，其中 F 为样本综合得分。26份杂交组合和CK综合得分如表4所示。各杂交组合综合得分存在明显差异，CK排名第9位，综合得分为0.5924，综合得分高于CK的杂交组合依次为TJ22、TJ3、TJ17、TJ15、TJ10、TJ11、TJ19和TJ12，说明这8份杂交组合产量高、品质好、综合性状好，可进行单地点品种比较试验。

2.3 聚类分析结果

依据主成分分析结果，用最短距离法计算组合间的欧氏距离，绘制系统聚类图(图1)。从图1可知，所有供试材料可聚成三大类群(I、II和III类群)，第I和II类群又可分别聚成2个亚类群。各类群主要性状的平均值见表5。

第I-1类包括TJ1、TJ2、TJ7、TJ8、TJ13、TJ18、TJ20和TJ23等8个组合，该亚类群组合的品质最差，平均得分为77.0分，产量较低，果穗穗部性状差；第I-2类包含TJ9、TJ16和TJ24等3个组合，该亚类群组

表 3 供试材料的11个性状指标在各主成分中的权重系数

Table 3 Weight coefficient of 11 characteristics indexes of test materials in each principal component

性状 Characteristic	第1主成分 Principal component 1	第2主成分 Principal component 2	第3主成分 Principal component 3	第4主成分 Principal component 4	第5主成分 Principal component 5
X_1	0.2325	-0.0498	-0.3534	-0.3940	0.7511
X_2	0.3906	-0.3145	-0.0013	-0.0686	-0.1558
X_3	0.3732	-0.2749	-0.2250	0.0855	0.0161
X_4	0.4025	0.1856	0.2429	-0.0426	-0.2189
X_5	0.3634	0.0483	0.0489	0.3631	0.0331
X_6	0.2618	0.1941	0.4695	-0.2294	0.1531
X_7	-0.1778	-0.4815	0.1378	0.5208	0.1289
X_8	0.1147	-0.2307	0.6532	-0.0083	0.4165
X_9	0.3302	0.2832	-0.2526	0.2241	0.0891
X_{10}	-0.0333	0.5811	0.0572	0.4682	0.3102
X_{11}	0.3695	0.2137	0.1730	-0.3252	-0.2113
特征值 Eigenvalue	4.7919	1.8127	1.3754	0.9721	0.6995
贡献率(%) Contribution rate	43.5623	16.4787	12.5041	8.8370	6.3593

表 4 供试材料的综合得分及排序

Table 4 Composite score and ranking of test materials

编号 Code	综合得分 Composite score	名次 Ranking	编号 Code	综合得分 Composite score	名次 Ranking
TJ1	-1.1720	22	TJ15	0.9243	4
TJ2	-1.5136	25	TJ16	-1.8504	26
TJ3	1.3387	2	TJ17	1.3256	3
TJ4	0.5632	11	TJ18	-1.0376	21
TJ5	0.2784	15	TJ19	0.6811	7
TJ6	0.4092	13	TJ20	-1.2360	23
TJ7	0.2018	16	TJ21	0.0082	17
TJ8	-0.0714	18	TJ22	1.4637	1
TJ9	-1.2431	24	TJ23	-0.9123	20
TJ10	0.9191	5	TJ24	-1.9328	27
TJ11	0.7601	6	TJ25	0.3757	14
TJ12	0.6758	8	TJ26	0.5005	12
TJ13	-0.6329	19	CK	0.5924	9
TJ14	0.5844	10			

表 5 不同类群各性状的平均值

Table 5 Average value of each characteristic in different groups

性状 Characteristic	类群				
	I		II		III
	I-1	I-2	II-1	II-2	
X_1 (d)	83.0	82.0	88.0	86.0	86.0
X_2 (cm)	211.0	176.0	247.0	241.0	260.0
X_3 (cm)	79.0	53.0	91.0	93.0	100.0
X_4 (g)	245.0	196.0	335.0	305.0	380.0
X_5 (cm)	20.8	18.4	22.7	21.9	22.5
X_6 (cm)	4.5	4.6	5.0	4.9	4.8
X_7 (cm)	0.9	0.3	1.3	0.9	0.5
X_8 (行)(row)	16.0	16.0	16.5	15.3	14.0
X_9 (粒)(grain)	40.0	37.0	44.0	43.0	50.0
X_{10} (分)(score)	77.0	82.0	80.0	82.0	82.0
X_{11} (kg/ha)	13447.5	10916.5	16971.5	15938.1	18081.0

产量太低,因此,第I类群的杂交组合无利用价值;第II-1类产量高、品质较好,第II-2类产量较高、品质好;第III类产量最高、品质好,因此第II和III类群具有较大的育种潜力。

2.4 灰色关联度分析结果

由表6可知,超甜玉米品质与9个农艺性状的关联度为0.3004~0.8238,排序为穗粗(X_6)>行粒数(X_9)>穗长(X_3)>穗行数(X_8)>生育期(X_1)>单穗重(X_4)>株高(X_2)>穗位高(X_3)>秃尖长(X_7),说明穗粗、行粒数和穗长对超甜玉米品质影响较大,穗位高和秃尖长对其影响较小。产量与9个农艺性状的关联度为0.2948~0.8727,排序为单穗重(X_4)>穗粗(X_6)>行粒数(X_9)>株高(X_2)>穗长(X_3)>生育期(X_1)>穗行数(X_8)>穗位高(X_3)>秃尖长(X_7),说明单穗重、穗粗和行粒数对超甜玉米产量影响较大,穗位高和秃尖长对其影响较小。因此,在高产超甜玉米育种中,应选择单穗较重、穗较粗、行粒数多的材料。

以供试材料11个性状的最大值建立参考品种,参考品种的基本性状为生育期102 d,株高293 cm,穗位高135 cm,单穗重380 g,穗长24.5 cm,穗粗5.2 cm,秃尖长3.8 cm,穗行数18.0行,行粒数53粒,品质92分,产量18081.0 kg/ha,数据无量纲处理后,用加权平均法计算参试材料的加权关联度,如表7所示。根据灰色系统理论的关联度分析原则,关联度越大,与参考品种越接近,说明质量越高,反之则低。与参考品种关联度排名前10位的杂交组合依次为TJ22、TJ3、TJ15、TJ17、TJ11、TJ10、TJ19、TJ12、TJ4和TJ26,均高于参考品种与CK关联度(0.7944,排名第11),说明10个杂交组合与参考品种较接近,综合性状表现好。

3 讨论

高产优质是作物育种工作追求的目标。由于农艺性状多为数量性状,给综合评价超甜玉米带来

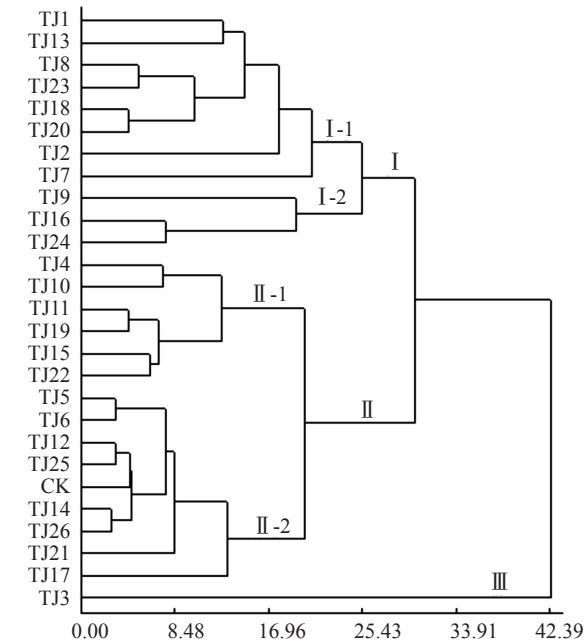


图 1 26个超甜玉米杂交组合的系统聚类分析结果

Fig.1 System clustering diagram of 26 super sweet maize cross combinations

合单穗重和产量最低,明显低于对照,果穗穗部性状也较差,因此,第I类群的杂交组合无利用价值。第II-1类包含TJ4、TJ10、TJ11、TJ19、TJ15和TJ22等6个组合,该亚类群植株较高,除秃尖长较长外,果穗穗部性状好,产量高,品质较好。第II-2类包含TJ5、TJ6、TJ12、TJ25、TJ14、TJ26、TJ21和TJ17等8个杂交组合和CK,该亚类群组合果穗穗部性状好,产量较高、品质好,因此,第II类群的杂交组合综合性状较好,具有较大的育种潜力。第III类群仅包含TJ3组合,单穗重和产量均在3个类群中最大,分别为380.0 g和18081.0 kg/ha,明显高于对照,品质与对照一致,植株高大,果穗穗部性状好,具有较大的育种潜力。综上所述,第I-1类产量和品质差,第I-2类品质好,但

表 6 供试材料的产量和品质与9个农艺性状的关联度

Table 6 Correlation coefficient between yield, quality and nine characteristics of test materials

性状 Characteristic	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_{10}	0.7500	0.7039	0.6220	0.7174	0.7974	0.8238	0.3004	0.7832	0.8023
X_{11}	0.7649	0.7813	0.6823	0.8727	0.7732	0.7972	0.2948	0.7353	0.7897

表 7 供试材料与参考品种关联度及排序

Table 7 Correlation degree and ranking of test materials and reference varieties

编号 Code	关联度 Correlation degree	名次 Ranking	编号 Code	关联度 Correlation degree	名次 Ranking
TJ1	0.7062	21	TJ15	0.8315	3
TJ2	0.6543	27	TJ16	0.6627	26
TJ3	0.8633	2	TJ17	0.8314	4
TJ4	0.7986	9	TJ18	0.7041	22
TJ5	0.7582	16	TJ19	0.8122	7
TJ6	0.7700	15	TJ20	0.7034	23
TJ7	0.7476	17	TJ21	0.7742	14
TJ8	0.7414	18	TJ22	0.8816	1
TJ9	0.6714	24	TJ23	0.7106	20
TJ10	0.8293	6	TJ24	0.6645	25
TJ11	0.8303	5	TJ25	0.7839	13
TJ12	0.8059	8	TJ26	0.7966	10
TJ13	0.7303	19	CK	0.7944	11
TJ14	0.7889	12			

一定困难。主成分分析法在极少损失原有信息的前提下,将个数较多且相互关联的性状指标转换成较少的独立或相关性较小的指标,可避免重复信息的干扰并简化选择程序,从而对材料进行科学评价(陈冰洁等,2017)。本研究通过主成分分析将12个性状综合为5个主成分(产量因子、品质因子、穗行数因子、秃尖长因子和生育期因子),每个主成分均可较客观地反映所控制的性状,累计贡献率达87.7414%,与董海合等(2005)、和风美等(2014a)的研究结果相似。系统聚类分析不仅可揭示品种类群间的遗传差异,还可了解类群内品种的遗传相似性(张振良等,2019)。在主成分分析基础上的聚类分析可有效地剔除无关大局的因子,使结果更精确。本研究在主成分分析基础上利用系统聚类分析法将供试26个超甜玉米杂交组合聚成三大类群,各类群间存在明显的遗传差异性,Ⅱ和Ⅲ类群组合的产量和品质优于Ⅰ类群,具有较大的育种潜力。

灰色关联度分析法具有所需样本小、方法简便、信息量大等优点,在农作物品种鉴定、筛选、育种等方面被广泛应用(林永明等2015;刘翔宇等,2016)。王俊花等(2016)研究发现,穗粗、穗长和穗位叶宽是影响甜玉米单穗净重的主要因素,穗位叶宽、穗位叶面积和穗长对食用品质影响较大。陈荣丽等(2018)研究发现,穗粗是影响甜玉米鲜穗产量的主要因素,生育期(出苗到采收)对产量影响较小。莫云锦等(2019)研究发现,株高、穗位高和行粒数是影响甜玉米鲜穗产量的主要因素,秃尖长对鲜穗产

量影响最小。本研究结果表明,穗粗、行粒数和穗长对超甜玉米品质影响较大,单穗重、穗粗和行粒数对超甜玉米产量影响较大,穗位高和秃尖长对品质和产量影响小,与前人研究结果存在异同。可见,通过灰色关联度分析可综合影响杂交组合品质和产量的主要性状,对参试材料做出全面、客观的评价。

本研究通过主成分分析法筛选出8个优良杂交组合(TJ22、TJ3、TJ17、TJ15、TJ10、TJ11、TJ19和TJ12),通过灰色关联度分析法筛选出10个优良组合(TJ22、TJ3、TJ15、TJ17、TJ11、TJ10、TJ19、TJ12、TJ4和TJ26),均处在第Ⅱ和Ⅲ类群,其中,除TJ3属于第Ⅲ类群外,其余均属于第Ⅱ类群。可见,较优组合聚在同一类群,间接证明系统聚类分析结果的正确性。由于TJ22、TJ17、TJ15、TJ10、TJ11、TJ19、TJ12和TJ3是以上两种方法筛选出的共有优良杂交组合,对这8个优良组合可进行单地点品种比较试验,第Ⅱ和Ⅲ类群其他组合还需进一步改良,或利用其个别性状进行育种,如采用杂交或回交将其他稳定自交系优良性状导入组合中。

4 结论

第Ⅰ类群的11个组合产量、品质性状表现差,无利用价值;第Ⅱ、Ⅲ类群的16个组合具有较大的育种潜力。筛选出8份产量高、品质好、综合性状好的优良组合(TJ22、TJ17、TJ15、TJ10、TJ11、TJ19、TJ12和TJ3),可进行单地点品种比较试验。第Ⅱ和Ⅲ类群的其他组合还需通过杂交或回交进一步改良。

参考文献:

- 陈冰洁,吕莹莹,张恩盈,张保望. 2017. 鲜食型糯玉米新品种主要农艺性状的相关和主成分分析[J]. 山东农业科学, 49(7):16-20. [Chen B J, Lü Y Y, Zhang E Y, Zhang B W. 2017. Correlation and principal component analysis on main agronomic characters of new fresh waxy corn varieties[J]. Shandong Agricultural Sciences, 49(7):16-20.]
- 陈荣丽,宋文兰,周胜,蔡治荣,易红华. 2018. 甜玉米鲜穗产量与农艺性状灰色关联度分析[J]. 种子, 37(9):92-95. [Chen R L, Song W L, Zhou S, Cai Z R, Yi H H. 2018. Analysis on grey correlation between yield of fresh ear and agronomic characters of sweet corn[J]. Seed, 37(9): 92-95.]
- 褚能明,柯剑鸿,袁亮. 2017. 不同鲜食甜糯玉米挥发性风味物质主成分分析[J]. 核学报, 31(11):2175-2185. [Chu N M, Ke J H, Yuan L. 2017. Principal components analy-

- sis for volatility of flavor compositions in different fresh sweet glutinous corn[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 31(11):2175-2185.]
- 董海合,李风华,张旭,楼辰军,钱芳,杨兆顺. 2005. 主成分分析在甜玉米育种中的应用[J]. *玉米科学*, 13(3):21-24. [Dong H H, Li F H, Zhang X, Lou C J, Qian F, Yang Z S. 2005. The application of principal component analysis method in sweet corn breeding[J]. *Journal of Maize Science*, 13(3):21-24.]
- 和凤美,朱永平,朱芮,覃鹏. 2014a. 超甜玉米自交系主要农艺性状及鲜穗产量的主成分分析[J]. *中国农学通报*, 30(18):79-83. [He F M, Zhu Y P, Zhu R, Qin P. 2014a. Principal component analysis on main agronomic characters and fresh ear yield of super sweet corn inbred line[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(18):79-83.]
- 和凤美,朱芮,朱永平,侯自明. 2014b. 甜玉米自交系性状相关分析和主成分分析[J]. *作物杂志*, (3):32-35. [He F M, Zhu R, Zhu Y P, Hou Z M. 2014b. Correlation analysis and principal components analysis of characters in sweet corn inbred lines[J]. *Crops*, (3):32-35.]
- 贺礼英,尹成杰,黄守程,何庆元,舒英杰. 2018. 菜用大豆主要农艺性状的相关性、聚类及主成分分析[J]. *浙江农业学报*, 30(1):50-57. [He L Y, Yin C J, Huang S C, He Q Y, Shu Y J. 2018. Correlation, clustering and principal component analysis of primary agronomic traits of vegetable soybean [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 30(1):50-57.]
- 刘翔宇,刘祖昕,加帕尔,斯拉依丁,阿依加马力·加帕尔,郭峰. 2016. 基于主成分与灰色关联分析的甜高粱品种综合评价[J]. *新疆农业科学*, 53(1):99-107. [Liu X Y, Liu Z X, Japar, Si L Y D, Ayijiamali. Japar, Guo F. 2016. Comprehensive evaluation of sweet sorghum varieties based on principal component silabi analysis and gray relational grade analysis[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 53(1):99-107.]
- 林颢文,杨泉女,王蕴波,钟健锦. 2012. 甜玉米杂交种品质性状的聚类分析[J]. *佛山科学技术学院学报(自然科学版)*, 30(4):55-58. [Lin D W, Yang Q N, Wang Y B, Zhong J J. 2012. Cluster analysis on quality traits in sweet corn hybrids[J]. *Journal of Foshan University(Natural Science Edition)*, 30(4):55-58.]
- 林永明,丰诗尧,胡美静,谢淑芳,李晓花,李惠平,宋宜. 2015. 玉米筛选品种9个性状的灰色关联度法综合评价[J]. *云南农业科技*, (5):4-6. [Lin Y M, Feng S Y, Hu M J, Xie S F, Li X H, Li H P, Song Y. 2015. Comprehensive evaluation of 9 characters of maize varieties by grey correlation degree method[J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, (5):4-6.]
- 莫云锦,程芳丽,马全资,侯定基,石志斯,陈辉云. 2019. 鲜食甜玉米新品种主要农艺性状与产量灰色关联度分析[J]. *现代农业科技*, (18):20-21. [Mo Y J, Cheng F L, Ma Q Z, Hou D J, Shi Z S, Chen H Y. 2019. Grey related degree analysis of the quality and main quality characters of fresh edible waxy maize[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, (18):20-21.]
- 倪正斌,朱俊凯,王陈燕,孙红芹,万林生,孙明法. 2017. 22个玉米杂交组合农艺性状的主成分和动态聚类分析[J]. *大麦与谷类科学*, 34(5):18-22. [Ni Z B, Zhu J K, Wang C Y, Sun H Q, Wan L S, Sun M F. 2017. Assessment of the agronomic characters of 22 corn hybrids and dynamic clustering analysis of their principal components[J]. *Barley and Cereal Science*, 34(5):18-22.]
- 潘天遵,高聚林,苏治军,于晓芳,王志刚,孙继颖,胡树平,刘剑,赵宽厚. 2016. 基于主成分分析的玉米杂交组合农艺性状综合评价[J]. *北方农业学报*, 44(4):1-8. [Pan T Z, Gao J L, Su Z J, Yu X F, Wang Z G, Sun J Y, Hu S P, Liu J, Zhao K H. 2016. Comprehensive evaluation of agronomic traits based on principal component analysis of maize hybrids[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 44(4):1-8.]
- 税红霞,蒋晓芳,王秀全,何丹,张华,卢庭启,庞启华. 2016. 甜玉米水溶性总糖与农艺性状的灰色关联度分析[J]. *耕作与栽培*, (1):5-7. [Shui H X, Jiang X F, Wang X Q, He D, Zhang H, Lu T Q, Pang Q H. 2016. Grey correlation degree analysis for water soluble sugar content of sweet corn and agronomic characters[J]. *Tillage and Cultivation*, (1):5-7.]
- 滕迁莹,陈永鑫,张帆,赵仁贵. 2019. 甜玉米自交系的表型形状和SRR聚类分析[J]. *种子*, 38(5):77-80. [Teng Q Y, Chen Y X, Zhang F, Zhao R G. 2019. Phenotypic traits and SSR clustering analysis of sweet corn inbred lines [J]. *Seed*, 38(5):77-80.]
- 赵文明,陈艳萍,孟庆长,郑飞,孔令杰,袁建华. 2010. 鲜食糯玉米品质与主要品质性状的灰色关联度分析[J]. *金陵科技学院学报*, 26(4):48-51. [Zhao W M, Chen Y P, Meng Q C, Zheng F, Kong L J, Yuan J H. 2010. Grey related degree analysis of the quality and main quality characters of fresh edible waxy maize[J]. *Journal of Jinling Institute of Technology*, 26(4):48-51.]
- 王俊花,邵林生,闫建宾,王瑞钢,庞旭,梁海英,张雪彪,张沛敏,韦峰. 2016. 甜玉米主要农艺性状与产量和食用品质的灰色关联度分析[J]. *河北农业科学*, 20(5):78-81. [Wang J H, Shao L S, Yan J B, Wang R G, Pang X, Liang H Y, Zhang X B, Zhang P M, Wei F. 2016. Grey correlative degree analysis of main agronomic characters and yield & food quality on sweet corn[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 20(5):78-81.]
- 张振良,黄小兰,薛林,陈国清,郝德荣,陆虎华,冒宇翔,周广飞,石明亮. 2019. 基于主成分分析和聚类分析的甜糯玉米新组合育种潜力评价[J]. *江西农业学报*, 31(2):19-25. [Zhang Z L, Huang X L, Xue L, Chen G Q, Hao D R, Lu H H, Mao Y X, Zhou G F, Shi M L. 2019. Evaluation of breeding potential of sweet waxy maize new combinations based on principal component analysis and cluster analysis[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 31(2):19-25.]
- 郑本川,崔成,李浩杰,张锦芳,柴靛,蒋俊,蒋梁材. 2019. 长江流域甘蓝型油菜育种亲本农艺性状的遗传变异、相关及主成分分析[J]. *南方农业学报*, 50(10):2196-2204. [Zheng B C, Cui C, Li H J, Zhang J F, Chai L, Jiang J, Jiang L C. 2019. Genetic variation, correlation and principal component analysis of agronomic traits of breeding parents of *Brassica napus* L. in Yangtze River[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 50(10):2196-2204.]
- Wang J h, Shao L S, Yan J B, Wang R G, Pang X, Liang H Y, Zhang X B, Zhang P M. 2015. Efficient cultivation mode and benefit analysis on sweet corn[J]. *Agricultural Science & Technology*, 16(9):1912-1915.