

魏 锋, 孙 佩, 卫晓轶, 等. 黄淮海地区 8 个玉米自交系产量性状和农艺性状的配合力分析及遗传效应估计[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(9): 61–68. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.09.009

黄淮海地区 8 个玉米自交系产量性状和农艺性状的配合力分析及遗传效应估计

魏 锋¹, 孙 佩¹, 卫晓轶¹, 史大坤¹, 李方杰¹, 刘俊恒², 宋宾宾²

(1. 新乡市农业科学院, 河南新乡 453002; 2. 鹤壁禾博士晟农科技有限公司, 河南鹤壁 458000)

摘要: 为了对玉米自交系进行产量相关性状、农艺相关性状方面的综合评价, 从而更好地指导玉米育种, 以 5 个玉米自交系作母本, 3 个玉米自交系作父本, 采用不完全双列杂交设计, 共组配出 15 个杂交组合, 对其产量性状(产量、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重)和农艺性状(株高、穗位高、抽雄期、吐丝期、散粉期)进行表型分析、方差分析和配合力分析, 并对产量性状、农艺性状进行主成分分析、聚类分析。结果表明, 母本自交系 Z78、Z33-1、Z53 产量性状的一般配合力效应绝对值较高, 下一步可以以这 3 个自交系作为利用和改良的重点; 在父本 3 个自交系中, H7235 的产量、穗长、穗行数、行粒数一般配合力效应值均最高, H7875A 的穗粗的一般配合力效应值最高, H7875S 的百粒重的一般配合力效应值最高, 说明利用 H7235、H7875A、H7875S 作父本组配杂交组合, 在产量性状方面均具有优势。由组合间的产量性状特殊配合力效应值可以看出, 宝景 186 的产量、穗粗、穗行数的特殊配合力效应值均较高, 硕育 172 的穗长、穗粗、行粒数的特殊配合力效应值均表现突出, 硕育 173 的穗长、行粒数、百粒重的特殊配合力效应值均表现突出, 其次为 Z53 × H7235、Z16 × H7875A。对杂交组合进行主成分分析和聚类分析的结果显示, 硕育 173、宝景 186、硕育 172 的综合产量性状、农艺性状表现最好。对产量性状、农艺性状进行遗传参数、遗传效应估计, 结果表明, 产量、行粒数、穗粗等产量性状及株高、穗位高等农艺性状受环境的影响较小, 均可进行较早代选择。抽雄期、吐丝期的遗传效应估计以加性效应为主, 产量性状及株高、穗位高的遗传效应估计以非加性效应为主。

关键词: 玉米; 产量性状; 农艺性状; 配合力

中图分类号: S513.037 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2025)09-0061-08

玉米作为我国第一大粮食作物, 其种植面积占全国的 10%, 占粮食总产量的 39%, 黄淮海地区是我国

夏玉米优势主产区之一, 因此提高该地区的玉米产量是保证国家粮食安全的根本^[1-2]。选育优良玉米新品种是提高产量的关键, 对玉米自交系的配合力和遗传效应进行分析, 有助于了解自交系的利用价值, 提高玉米的育种效率^[3]。一般配合力和特殊配合力共同决定了自交系的育种潜力, 配合力高的自交系更容易组配出优势杂交组合^[4]。针对不同玉米自交系的配合力分析, 前人已有相关报道^[5-8]。

收稿日期: 2024-12-18

基金项目: 河南省科技攻关项目(编号: 242102110283)。

作者简介: 魏 锋(1984—), 男, 河南原阳人, 硕士, 副研究员, 主要从事玉米遗传育种研究。E-mail: 1194939226@qq.com。

通信作者: 卫晓轶, 博士, 副研究员, 主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: xiaoyi_919@126.com; 刘俊恒, 硕士, 副研究员, 主要从事玉米遗传育种研究, E-mail: junheng202403@126.com。

[19] 朱利君, 闫秋洁, 陈光升, 等. 外源 H₂O₂ 通过介导抗氧化酶、ABA 和 GA 促进高盐胁迫下黄瓜种子的萌发[J]. 植物生理学报, 2019, 55(3): 342–348.

[20] 陆皎云, 田 宏, 张鹤山, 等. H₂O₂ 浸种对盐胁迫下紫花苜蓿种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2023, 32(10): 141–152.

[21] 曾 敏, 李江迪, 陈 燕, 等. 外源 H₂O₂ 对不同亚种水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 植物生理学报, 2023, 59(5): 869–877.

[22] 阮松林, 薛庆中. 植物的种子引发[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(2): 198–202.

[23] 王俭珍, 刘 倩, 高娅妮, 等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(16): 5565–5577.

[24] Saxena, R, Kumar, M, Tomar, R S. Plant responses and resilience towards drought and salinity stress[J]. Plant Archives, 2019, 19(2): 50–58.

[25] 孙天国, 张梅娟, 马天意, 等. 亚精胺对渗透胁迫下甜瓜幼苗膜脂过氧化和抗氧化系统的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(1): 177–184.

[26] 李嘉文, 麻冬梅, 苏立娜, 等. 外源褪黑素对盐胁迫下燕麦幼苗生长及抗氧化系统的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(2): 396–403.

本研究以适宜在黄淮海地区种植的 8 个玉米自交系作为试验材料,采用不完全双列杂交设计,共组配出 15 个玉米杂交组合,对其产量性状、农艺性状进行配合力分析、主成分分析及遗传效应估计,以期在筛选出优良玉米组合的同时,为黄淮海地区玉米自交系的改良和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验以 5 个玉米自交系(Z33-1、郑 58、Z16、Z53、Z78)为母本,以 3 个玉米自交系(H7875S、H7875A、H7235)为父本。自交系均由鹤壁禾博士晟农科技有限公司选育。按照 NCII 遗传交配设计,于 2023 年冬季在海南省组配成 15 个杂交组合,其中硕育 173(Z33-1 × H7875S)、宝景 186(Z33-1 × H7875A)、硕育 172(郑 58 × H7235)均已通过国家审定,审定编号分别为国审玉 20200368、国审玉 20210415、国审玉 20200367,3 个玉米品种均为目前黄淮海地区大面积推广的玉米新品种。

1.2 试验方法

试验用玉米于 2024 年 6 月种植在新乡市农业科学院辉县试验基地,采用完全随机区组试验设计,设 4 行区,行长 4 m,行距 0.6 m,种植密度为 75 000 株/hm²,设 3 次重复,田间管理参照常规模大田生产习惯。

调查从出苗至抽雄、吐丝和散粉的时间,分别记作抽雄期、吐丝期和散粉期。在灌浆期,每个组合选取长势均匀的 10 株,测量株高、穗位高。在成熟期,收获小区的中间 2 行进行测产,测定籽粒含水量、穗粒重,折算出单位面积产量,选取长势均匀的 10 个果穗,对穗部性状进行考种,包括穗长、穗粗、穗行数、行粒数和百粒重等。

1.3 数据分析

用 Excel 2007、SPSS 17.0 软件对杂交组合产量性状和农艺性状数据进行表型分析、方差分析、配合力效应分析、遗传参数和遗传效应估计、相关性分析、主成分分析,用 R 语言进行聚类分析。

狭义遗传力的计算公式如下:

$$h_{N^2} = V_G / (V_G + V_E) \times 100\% \quad (1)$$

式中: V_G 为总遗传方差; V_E 为环境方差。

用软件 SPSS 17.0 对数据进行主成分分析^[9-11]。首先,从样本的相关矩阵出发,对原始数据进行标准化处理,计算各性状的特征值、方差贡

献率,根据性状特征值累计方差贡献率确定主成分的数量,再根据各性状的特征向量,列出主成分的函数表达式。然后,计算其主成分值,对杂交组合进行比较,进一步对杂交组合进行综合评价排序。具体计算公式如下:

隶属函数值:

$$U(x_j) = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: x_j 表示第 j 个综合指标值; x_{\min} 表示第 j 个综合指标的最小值; x_{\max} 表示第 j 个综合指标的最大值。

权重:

$$W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: W_j 代表第 j 个综合指标的权重; P_j 表示第 j 个综合指标的贡献率。

综合评价:

$$Y = \sum_{j=1}^n [U(x_j) \times W_j] \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

式中: Y 值代表杂交组合的综合评价。

2 结果与分析

2.1 杂交组合产量性状、农艺性状的表型分析

由表 1 可知,15 个杂交组合的产量、穗长、穗粗等 6 个性状中,行粒数组间间的差异最大,变幅为 24.6 ~ 38.0 粒,平均值为 31.2 粒,变异系数为 12.8%;产量组合间的差异最小,变幅为 4 150.1 ~ 10 863.9 kg/hm²,平均值为 7 991.4 kg/hm²,变异系数为 1.5%。在杂交组合的株高等 5 个农艺性状中,穗位高组合间的差异最大,变幅为 84.3 ~ 129.0 cm,平均值为 106.8 cm,变异系数最大(11.5%);抽雄期、吐丝期和散粉期组合间的差异均较小,其中抽雄期组合间的差异最小,变幅为 49.0 ~ 54.0 d,平均值为 51.5 d,变异系数最小,为 2.7%。

2.2 组配出的 15 个杂交组合各性状的方差分析

以 5 个母本自交系、3 个父本自交系组配出 15 个玉米杂交组合,对 15 个玉米杂交组合的产量性状、农艺性状进行方差分析。表 2 的方差分析结果表明,除穗行数的母本间、抽雄期的父本间和母本 × 父本互作间外,各性状的组合间、母本间、父本间及母本 × 父本互作间的差异均达到显著或极显著水平,因此可以进行下一步的配合力分析、遗传方差分析及遗传效应估计。

表 1 杂交组合产量性状和农艺性状的表型分析结果

性状	产量 (kg/hm ²)	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	穗行数 (行)	行粒数 (粒)	百粒重 (g)	株高 (cm)	穗位高 (cm)	抽雄期 (d)	吐丝期 (d)	散粉期 (d)
平均值	7 991.4	17.9	4.5	15.5	31.2	31.9	254.9	106.8	51.5	53.3	54.1
标准差	122.0	1.9	0.3	1.1	4.0	2.4	19.2	12.3	1.4	1.7	1.7
变幅	4 150.1~10 863.9	13.9~22.0	4.1~5.0	14.0~17.6	24.6~38.0	28.0~36.3	230.7~300.7	84.3~129.0	49.0~54.0	51.0~56.0	51.0~57.0
变异系数(%)	1.5	10.6	6.7	7.1	12.8	7.5	7.5	11.5	2.7	3.2	3.1

表 2 5 个母本与 3 个父本组配成 15 个杂交组合产量性状和农艺性状的方差分析结果

性状	组合			母本			父本			母本×父本		
	自由度	均方	F 值	自由度	均方	F 值	自由度	均方	F 值	自由度	均方	F 值
产量	14	44 615.30	149.71**	4	15 291.16	51.31**	2	71 609.67	240.29**	8	52 528.78	176.26**
穗长	14	11.06	5.74**	4	4.42	2.30*	2	24.29	12.62**	8	11.07	5.75**
穗粗	14	0.18	17.44**	4	0.09	8.54**	2	0.20	19.21**	8	0.22	21.44**
穗行数	14	3.76	6.15**	4	0.35	0.57	2	3.29	5.38*	8	5.59	9.12**
行粒数	14	46.78	37.97**	4	17.89	14.53**	2	103.43	83.96**	8	47.06	38.20**
百粒重	14	17.71	11.51**	4	7.91	5.14**	2	44.90	29.19**	8	15.81	10.27**
株高	14	1 105.99	61.54**	4	191.63	10.66**	2	1 229.04	68.39**	8	1 532.41	85.27**
穗位高	14	453.70	65.32**	4	454.21	65.39**	2	540.56	77.82**	8	431.73	62.15**
抽雄期	14	5.51	2.42*	4	12.70	5.57**	2	4.60	2.02	8	2.15	0.94
吐丝期	14	8.77	10.12**	4	19.60	22.62**	2	13.40	15.46**	8	2.20	2.54*
散粉期	14	8.77	18.61**	4	14.80	31.39**	2	7.40	15.70**	8	6.10	12.94**

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。下表同。

2.3 亲本产量性状和农艺性状的一般配合力效应值比较

由表 3 可知,母本 5 个自交系中,Z78 的产量的一般配合力效应值最高(132.86);Z33-1 的穗长、穗粗的一般配合力效应值均最高,分别为 1.69、0.73;Z53 的穗行数、百粒重的一般配合力效应值均

最高,分别为 1.40、2.11;Z78 的行粒数的一般配合力效应值均最高,为 3.29,Z33-1 其次。对母本农艺性状的一般配合力效应值进行分析可知,Z53 的株高、穗位高的一般配合力效应值均最高,分别为 29.69、17.11;Z33-1 的抽雄期、吐丝期和散粉期的一般配合力效应值均最高,其次为郑 58。

表 3 亲本产量性状和农艺性状的一般配合力效应值

性状	母本的一般配合力效应值					父本的一般配合力效应值		
	Z33-1	郑 58	Z16	Z53	Z78	H7875S	H7875A	H7235
产量	-29.24	-9.10	-5.87	-88.66	132.86	-42.16	-59.07	101.23
穗长	1.69	0.43	-1.63	-0.35	-0.15	0.19	-1.01	0.81
穗粗	0.73	-0.25	-0.41	0.18	-0.27	-0.22	0.35	-0.13
穗行数	0.07	-0.33	-0.60	1.40	-0.53	-0.17	-0.09	0.27
行粒数	2.34	-2.92	-1.86	-0.86	3.29	0.21	-1.03	0.82
百粒重	-0.94	0.70	-1.49	2.11	-0.40	0.36	-0.61	0.25
株高	-10.65	1.35	-1.65	29.69	-18.76	-9.07	9.73	-0.67
穗位高	-17.22	2.78	0.44	17.11	-3.11	-3.38	2.02	1.36
抽雄期	1.86	0.53	-0.14	-1.14	-1.14	0.33	-0.07	-0.27
吐丝期	2.06	1.40	-0.94	-0.94	-1.60	-0.07	0.33	-0.27
散粉期	1.26	1.26	-0.07	-1.07	-1.40	0.13	0.33	-0.47

对父本产量性状的一般配合力效应值进行比较可知,H7235 的产量、穗长、穗行数、行粒数的一般配合力效应值均最高,分别为 101.23、0.81、0.27、0.82;H7875A 的穗粗的一般配合力效应值最高,为 0.35;H7875S 的百粒重的一般配合力效应值最高,为 0.36。对父本农艺性状的一般配合力效应值进行分析可知,H7875A 的株高、穗位高的一般配合力效应值均最高,分别为 9.73、2.02;H7875S 的抽雄期的一般配合力效应值最高,为 0.33;H7875A 的吐丝期、散粉期的一般配合力效应值均最高,均为 0.33。

2.4 产量性状和农艺性状的特殊配合力效应分析

对表 4 中产量性状的特殊配合力效应值进行分析可知,宝景 186 的产量的特殊配合力最高,为 129.65,其次为 Z53 × H7235,其产量特殊配合力的效应值为 79.82。穗长的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为 Z16 × H7875A、硕育 173、Z78 × H7235、硕育 172;穗粗的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为宝景 186、Z78 × H7875S、硕育 172;穗行数的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为 Z16 × H7875A、宝景 186、Z53 × H7875S;行粒数的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为 Z16 ×

H7875A、硕育 173、Z78 × H7235、硕育 172;百粒重的效应值表现突出的杂交组合为硕育 173、Z53 × H7235、Z78 × H7875S。从组合间的产量性状特殊配合力效应值可以看出,宝景 186 的产量、穗粗、穗行数的特殊配合力效应值均较高,硕育 172 的穗长、穗粗、行粒数的特殊配合力效应值均表现突出,硕育 173 的穗长、行粒数、百粒重的特殊配合力效应值均表现突出,Z53 × H7235 的产量、百粒重的特殊配合力效应值均表现突出,Z16 × H7875A 的穗长、穗行数、行粒数的特殊配合力效应值均表现突出。

对农艺性状的特殊配合力效应值进行分析可知,Z53 × H7875A 株高的特殊配合力效应值最高,为 6.38,其次为 Z33 - 1 × H7235,特殊配合力效应值为 3.78;穗位高的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为 Z33 - 1 × H7235、郑 58 × H7875A、Z53 × H7875S;抽雄期的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为 Z78 × H7235、宝景 186、Z16 × H7875A;吐丝期的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为郑 58 × H7875A、硕育 173、Z53 × H7875S;散粉期的特殊配合力效应值表现突出的杂交组合为 Z78 × H7235、Z16 × H7875A、宝景 186。

表 4 杂交组合产量性状和农艺性状的特殊配合力效应值

代号	组合	特殊配合力效应值										
		产量	穗长	穗粗	穗行数	行粒数	百粒重	株高	穗位高	抽雄期	吐丝期	散粉期
C1	Z33 - 1 × H7875S(硕育 173)	-99.09	2.24	-0.89	-1.43	4.26	3.58	1.51	-1.84	0.33	0.73	0.53
C2	Z33 - 1 × H7875A(宝景 186)	129.65	-0.69	1.69	0.89	-2.30	-0.35	-5.29	-5.24	0.73	0.33	1.33
C3	Z33 - 1 × H7235	-30.56	-1.55	-0.80	0.53	-1.95	-3.23	3.78	7.09	-1.07	-1.07	-1.87
C4	郑 58 × H7875S	17.12	0.20	0.25	0.57	0.12	-1.32	-3.49	-2.18	-0.33	-1.60	-0.47
C5	郑 58 × H7875A	-25.39	-1.04	-0.53	-1.11	-1.84	1.07	3.04	4.76	0.07	1.00	0.33
C6	郑 58 × H7235(硕育 172)	8.26	0.84	0.28	0.53	1.71	0.25	0.44	-2.58	0.27	0.60	0.13
C7	Z16 × H7875S	17.45	-2.54	0.09	-0.36	-4.94	-0.79	-2.16	0.49	-0.67	-0.27	-1.13
C8	Z16 × H7875A	-2.51	2.66	-0.14	1.16	6.90	0.59	2.04	-2.91	0.73	0.33	1.67
C9	Z16 × H7235	-14.94	-0.12	0.05	-0.80	-1.95	0.19	0.11	2.42	-0.07	-0.07	-0.53
C10	Z53 × H7875S	28.54	-0.18	0.18	0.84	-0.34	-3.33	0.51	4.16	0.33	0.73	0.87
C11	Z53 × H7875A	-108.36	0.30	-0.43	-0.84	0.10	1.35	6.38	3.09	-0.27	-0.67	-1.33
C12	Z53 × H7235	79.82	-0.12	0.25	0.01	0.25	1.98	-6.89	-7.24	-0.07	-0.07	0.47
C13	Z78 × H7875S	35.98	0.28	0.37	0.37	0.91	1.85	3.62	-0.62	0.33	0.40	0.20
C14	Z78 × H7875A	6.61	-1.23	-0.59	-0.11	-2.85	-2.66	-6.18	0.31	-1.27	-1.00	-2.00
C15	Z78 × H7235	-42.59	0.95	0.22	-0.27	1.95	0.81	2.56	0.31	0.93	0.60	1.80

由表 5 可知,除株高、穗粗和散粉期外,其余性状的特殊配合力的正向效应值、负向效应值杂交组合数相当。宝景 186 的产量、穗粗为正向效应值最大的组合,Z16 × H7875A 的穗长、穗行数、行粒数为

正向效应值最大的组合,硕育 173 的百粒重为正向效应值最大的组合,Z53 × H7235 的株高、穗位高为负向效应值最大的组合。

表 5 杂交组合各性状的特殊配合力效应值分析

性状	正向效应值杂交组合数 (个)	负向效应值杂交组合数 (个)	效应值变幅	正向效应值最大的组合	负向效应值最大的组合
产量	8	7	-108.36 ~ 129.65	宝景 186	Z53 × H7875A
穗长	7	8	-2.54 ~ 2.66	Z16 × H7875A	Z16 × H7875S
穗粗	9	6	-0.89 ~ 1.69	宝景 186	硕育 173
穗行数	8	7	-1.43 ~ 1.16	Z16 × H7875A	硕育 173
行粒数	8	7	-4.94 ~ 6.90	Z16 × H7875A	Z16 × H7875S
百粒重	9	6	-3.33 ~ 3.58	硕育 173	Z53 × H7875S
株高	10	5	-6.89 ~ 6.38	Z53 × H7875A	Z53 × H7235
穗位高	8	7	-7.24 ~ 7.09	Z33 - 1 × H7235	Z53 × H7235
抽雄期	8	7	-1.27 ~ 0.93	Z78 × H7235	Z78 × H7875A
吐丝期	8	7	-1.60 ~ 1.00	郑 58 × H7875A	郑 58 × H7875S
散粉期	9	6	-2.00 ~ 1.80	Z78 × H7235	Z78 × H7875A

2.5 各性状遗传参数及遗传效应估计

遗传力是遗传方差组分与表型方差的比值,是反映亲本性状传递给后代的能力。参照陈泽辉等的计算方法^[12],对各性状进行遗传参数、遗传效应估计。从表 6 可以看出,抽雄期、吐丝期的加性遗传方差分别占遗传总方差的 96.08%、84.21%,说明抽雄期、吐丝期的遗传效应估计以加性效应为主,其余各性状的加性遗传方差占遗传总方差的比例

均不超过 50.00%,说明这些性状的遗传效应估计以非加性效应为主。

从各性状的遗传力可以看出,除抽雄期以外,其余性状的狭义遗传力均高于 70.00%,其中产量性状的遗传力最高,达 98.66%,产量及产量相关性状的遗传力排序为产量 > 行粒数 > 穗粗 > 百粒重 > 穗行数 > 穗长,其中株高、穗位高的遗传力均高于 90.00%。

表 6 各性状的遗传参数、遗传效应估计结果

性状	加性遗传方差(V_A)	遗传总方差(V_G)	环境方差(V_E)	表型方差(V_P)	遗传力 (%)	V_A/V_G (%)
产量	4 602.61	22 012.86	298.01	22 310.87	98.66	20.91
穗长	1.91	4.96	1.92	6.88	72.09	38.51
穗粗	0.01	0.08	0.01	0.09	88.89	12.50
穗行数	0.60	2.26	0.61	2.87	78.75	26.55
行粒数	8.21	23.48	1.23	24.71	95.02	34.97
百粒重	3.76	8.52	1.54	10.06	84.69	44.13
株高	123.09	627.90	17.97	645.87	97.22	19.60
穗位高	13.59	155.18	6.95	162.13	95.71	8.76
抽雄期	0.98	1.02	2.28	3.30	30.91	96.08
吐丝期	2.40	2.85	0.87	3.72	76.61	84.21
散粉期	0.72	2.60	0.47	3.07	84.69	27.69

2.6 各性状特殊配合力效应值的相关性分析

由表 7 可知,穗长、穗粗、穗行数、百粒重与产量的特殊配合力效应值均呈显著或极显著正相关,相关系数分别为 0.515、0.797、0.637、0.659;穗长与行粒数的特殊配合力效应值呈极显著正相关,相关系数为 0.965;穗粗与穗行数的特殊配合力效应值呈显著正相关,相关系数为 0.525;穗长与百粒重的

特殊配合力效应值呈显著正相关,相关系数为 0.554;穗行数与百粒重的特殊配合力效应值呈显著负相关,相关系数为 -0.515。

由表 8 可知,株高与穗位高的特殊配合力效应值呈极显著正相关,相关系数为 0.798;穗位高与抽雄期的特殊配合力效应值呈极显著负相关,相关系数为 -0.692;抽雄期与吐丝期、散粉期的特殊配合

表 7 产量性状特殊配合力效应值的相关系数

性状	相关系数				
	产量	穗长	穗粗	穗行数	行粒数
穗长	0.515*				
穗粗	0.797**	-0.070			
穗行数	0.637*	0.050	0.525*		
行粒数	0.297	0.965**	-0.143	0.151	
百粒重	0.659**	0.554*	-0.024	-0.515*	0.497

注：*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。表 8 同。

表 8 农艺性状特殊配合力效应值的相关系数

性状	相关系数			
	株高	穗位高	抽雄期	吐丝期
穗位高	0.798**			
抽雄期	-0.286	-0.692**		
吐丝期	-0.038	-0.445	0.867**	
散粉期	-0.082	-0.437	0.879**	0.824**

力效应值均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.867、0.879;吐丝期与散粉期的特殊配合力效应值呈极显著正相关,相关系数为 0.824。

2.7 杂交组合产量性状和农艺性状的主成分分析

对玉米组合产量性状、农艺性状的原始数据进行标准化,然后对各个性状数据进行主成分分析。由表 9 可知,第 1 主成分的贡献率为 35.517%,对应各性状的特征向量值从大到小排序为抽雄期 > 散粉期 > 吐丝期 > 穗长 > 行粒数 > 产量 > 百粒重 > 穗行数 > 穗粗 > 株高 > 穗位高,系数载荷较高的是抽雄期、散粉期和吐丝期,因此认为,第 1 主成分是抽雄期、散粉期和吐丝期因子。第 2 主成分的贡献率为 25.563%,对应各性状的特征向量值从大到小排序为穗粗 > 百粒重 > 株高 > 穗行数 > 穗长 > 散粉期 > 吐丝期 > 穗位高 > 行粒数 > 抽雄期 > 产量,系数载荷较高的是穗粗、百粒重,因此认为,第 2 主成分是穗粗、百粒重因子。第 3 主成分的贡献率为 17.663%,对应各性状的特征向量值从大到小排序为行粒数 > 产量 > 穗长 > 穗粗 > 穗行数 > 百粒重 > 穗位高 > 抽雄期 > 散粉期 > 株高 > 吐丝期,系数载荷较高的是行粒数和产量,因此认为,第 3 主成分是行粒数、产量因子。第 4 主成分的贡献率为 9.932%,对应各性状的特征向量值从大到小排序为穗行数 > 产量 > 穗粗 > 散粉期 > 抽雄期 > 吐丝期 > 株高 > 穗位高 > 穗长 > 行粒数 > 百粒重,系数载荷较高的是穗行数,因此认为,第 4 主成分是穗行数因子。4 个综合指标的累计贡献率达

88.675%。由此可见,可将原来的 11 个单一性状转换为 4 个相互独立的综合指标,并代表原始性状所传达的大部分信息,利用这 4 个综合指标基本可以进行玉米产量、农艺性状的综合评价。

表 9 成分矩阵及贡献率

指标	载荷			
	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分
产量	0.071	-0.395	0.675	0.285
穗长	0.622	0.538	0.446	-0.145
穗粗	-0.390	0.825	0.330	0.179
穗行数	-0.338	0.611	0.236	0.660
行粒数	0.428	0.270	0.725	-0.194
百粒重	-0.047	0.644	0.122	-0.646
株高	-0.607	0.638	-0.398	0.004
穗位高	-0.871	0.291	-0.192	-0.100
抽雄期	0.902	0.253	-0.267	0.147
吐丝期	0.744	0.357	-0.446	0.106
散粉期	0.754	0.376	-0.341	0.159
贡献率(%)	35.517	25.563	17.663	9.932
累计贡献率(%)	35.517	61.080	78.744	88.675

2.8 杂交组合的综合性评价

根据公式(2)计算 15 个杂交组合在各综合指标中的隶属函数值,根据公式(3)计算其权重。4 个综合指标的权重分别为 0.401、0.288、0.199、0.112。结合各综合指标的隶属函数值及其权重,用公式(4)计算各杂交组合产量性状、农艺性状的综合评价价值(Y)。Y 值越大,表明该杂交组合的综合产量性状、农艺性状表现越好。

从表 10 可以看出,组合代号为 C1(硕育 173)的 Y 值最高,为 1.828,其次分别为代号 C2(宝景 186)、C6(硕育 172)的组合,Y 值分别为 1.284、0.784,说明硕育 173、宝景 186、硕育 172 的综合产量性状和农艺性状表现最好。C7(Z16 × H7875S)的 Y 值最低,C14(Z78 × H7875A)、C11(Z53 × H7875A)的 Y 值次之,说明 Z16 × H7875S、Z78 × H7875A、Z53 × H7875A 这 3 个组合的综合产量性状、农艺性状表现较差。

2.9 杂交组合的聚类分析

通过主成分分析,对杂交组合的产量性状、农艺性状进行综合评价,根据杂交组合的综合性评价价值进行聚类分析。由图 1 可知,通过聚类分析,将 15 份杂交组合分为 4 类,第 1 类为 C1、C2、C6,占比为 20.0%;第 2 类为 C3、C4、C8、C13、C15,占比为 33.3%;第 3 类为 C5、C10、C12,占比为 20.0%;第 4 类为 C7、C9、C11、C14,占比为 26.7%。

表 10 不同玉米杂交组合综合性评价价值及排序

代号	组合	隶属函数值								Y 值	综合评价排序
		因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分		
C1	Z33-1×H7875S(硕育 173)	2.189	0.663	-0.012	-1.898	4.326	1.111	-0.016	-1.984	1.828	1
C2	Z33-1×H7875A(宝景 186)	1.416	0.252	-0.637	1.861	2.798	0.423	-0.888	1.945	1.284	2
C3	Z33-1×H7235	0.342	-0.277	0.450	1.461	0.677	-0.465	0.627	1.526	0.433	6
C4	郑 58×H7875S	0.301	-0.040	-0.228	0.207	0.595	-0.067	-0.317	0.216	0.180	8
C5	郑 58×H7875A	0.220	-0.005	-2.140	-0.782	0.434	-0.009	-2.983	-0.817	-0.515	11
C6	郑 58×H7235(硕育 172)	0.445	0.672	0.243	0.337	0.879	1.126	0.339	0.352	0.784	3
C7	Z16×H7875S	-0.474	-1.704	-1.105	-0.063	-0.936	-2.857	-1.540	-0.066	-1.513	15
C8	Z16×H7875A	0.279	0.412	-0.118	0.502	0.552	0.691	-0.164	0.525	0.446	5
C9	Z16×H7235	-0.335	-1.130	-0.204	-0.428	-0.662	-1.896	-0.285	-0.447	-0.918	12
C10	Z53×H7875S	-0.978	1.136	-0.265	1.206	-1.934	1.904	-0.369	1.260	-0.158	10
C11	Z53×H7875A	-1.746	1.242	-0.828	-1.183	-3.451	2.082	-1.155	-1.237	-1.150	13
C12	Z53×H7235	-1.201	1.346	1.067	-0.041	-2.373	2.258	1.487	-0.043	-0.008	9
C13	Z78×H7875S	0.134	-0.355	1.526	-0.679	0.265	-0.595	2.127	-0.709	0.279	7
C14	Z78×H7875A	-0.887	-1.943	0.548	0.027	-1.753	-3.258	0.764	0.028	-1.486	14
C15	Z78×H7235	0.295	-0.268	1.703	-0.526	0.583	-0.450	2.374	-0.549	0.515	4

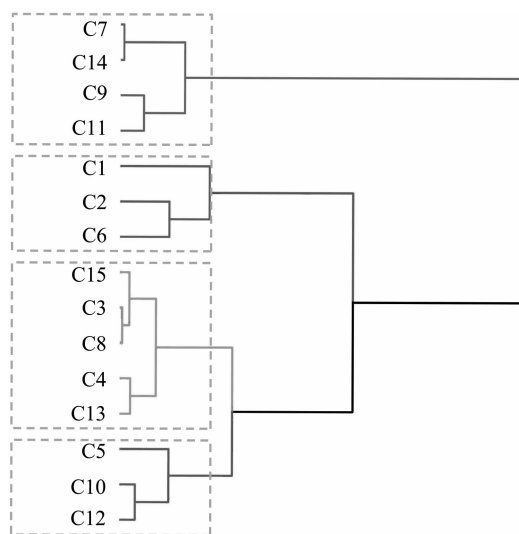


图1 杂交组合的聚类分析结果

3 讨论与结论

玉米自交系的配合力是选育优良杂交组合的重要因素,对自交系的不同性状进行配合力分析有助于掌握自交系的特点^[13-14]。本研究以 5 个玉米自交系作母本、3 个玉米自交系作父本,采用不完全双列杂交设计组配出 15 个玉米杂交组合,通过对产量性状、农艺性状的表型、配合力分析,发现 Z78、Z33-1、Z53 这 3 个母本自交系产量性状的一般配合力效应值的绝对值较高,可以作为组配高产杂交组合的亲本,下一步也可以将这 3 个自交系作为母

本早代利用和改良的重点。在 3 个父本自交系中, H7235 的产量、穗长、穗行数、行粒数的一般配合力效应值均最高, H7875A 的穗粗的一般配合力效应值最高, H7875S 的百粒重的一般配合力效应值最高。在玉米杂交组合的组配过程中,利用性状的遗传互补性可以选育出优良的组合^[15],说明以 H7235、H7875A、H7875S 作父本组配杂交组合,在产量性状方面均具有不同优势,可以根据优势互补原则,通过累积优良基因来指导玉米新品种的选育。自交系 Z53、H7875A 的株高、穗位高的一般配合力均较高,为玉米育种过程中的株型选择提供了依据;

Z33-1、H7875S、H7875A的抽雄期、吐丝期和散粉期的一般配合力均较高,为生育期的选择提供了依据。

特殊配合力的效应主要来自双亲基因的非加性效应,主要包括显性效应、超显性效应和上位性效应等遗传效应^[16-17]。有研究发现,当亲本的一般配合力效应值高,而且组配出的杂交组合的特殊配合力效应值也较高时,杂交种的产量相应也较高^[18]。在本研究中,对各玉米杂交组合进行比较可知,宝景186的产量、穗粗、穗行数的特殊配合力效应值均较高,硕育172的穗长、穗粗、行粒数的特殊配合力效应值表现突出,硕育173的穗长、行粒数、百粒重的特殊配合力效应值表现突出,其次为Z53×H7235、Z16×H7875A,说明Z33-1与H7875A、郑58与H7235、Z33-1与H7875S之间的产量性状的特殊配合力均较高。对杂交组合进行主成分分析和聚类分析的结果表明,硕育173、宝景186、硕育172的综合产量性状和农艺性状表现较好。

遗传力可作为杂交后代选择的一项指标。基于性状遗传力的高低,能够预测在哪些世代对目标性状开展有效选择,使杂交后代选育更加科学^[19]。研究发现,穗长、穗行数可进行早代选择;单株粒重、穗粗、行粒数等受环境的影响较大,不宜进行早代选择^[20]。连晓荣等通过对主要性状进行遗传参数分析发现,株高、穗位高、雄穗分枝数、穗行数、出籽率、秃尖长度适合进行早代选择,单株产量、穗长、行粒数适宜用于晚代选择^[18]。彭林等研究发现,株高及收获时的含水量适宜用于早代选择,穗位高适宜用于晚代选择^[21]。在本研究中,产量性状的遗传力排序为产量>行粒数>穗粗>百粒重>穗行数>穗长,且均高于70.00%,说明产量、行粒数、穗粗等产量性状均可进行相对较早代选择;株高、穗位高的遗传力均高于90.00%,可进行早代选择;抽雄期的遗传力最低,为30.91%,说明该性状受环境的影响较大,适合晚代进行选择。由于受供试材料及环境差异的影响,本研究结果与前人研究结果并非完全一致。从本研究的遗传效应估计结果来看,抽雄期、吐丝期的加性遗传方差占遗传总方差的比例均较高,说明抽雄期、吐丝期的遗传效应估计以加性效应为主,其余各性状的加性遗传方差占遗传总方差的比例均不超过50%,说明产量性状及株高、穗位高的遗传效应估计以非加性效应为主,即显性效应和上位性效应。

参考文献:

- [1]国家统计局. 国际统计年鉴—2018[M]. 北京:中国统计出版社,2019.
- [2]刘桂珍,郭书磊,魏良明,等. 河南夏玉米主产区气象因素对产量的影响[J]. 玉米科学,2024,32(6):55-66.
- [3]张军刚,冯晓曦,郭海斌,等. 18个玉米自交系主要性状配合力及遗传效应分析[J]. 江苏农业科学,2024,52(8):100-106.
- [4]Sprague G F, Tatum L A. General vs. specific combining ability in single crosses of Corn¹[J]. Agronomy Journal,1942,34(10):923-932.
- [5]周志强. 玉米主要农艺性状及其配合力的遗传解析[D]. 北京:中国农业科学院,2018.
- [6]进茜宁,李威,王平喜,等. 玉米自交系的配合力及相关性分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(6):68-72.
- [7]Patil N L, Kachapur R M, Nair S K. Genetic evaluation for understanding combining ability effects and heterotic grouping in maize(*Zea mays* L.)[J]. Maydica,2021,66:13.
- [8]王小博,常晓,刘柏林,等. 新选玉米自交系的配合力及遗传参数分析[J]. 种子,2024,43(12):108-114.
- [9]李新海,徐尚忠,李建生. 10个热带、亚热带玉米群体配合力效应研究[J]. 玉米科学,2001,9(1):1-5.
- [10]孙海艳,蔡一林,王国强,等. 10个玉米自交系穗部性状的配合力分析[J]. 玉米科学,2006,14(4):61-63.
- [11]马延华,孙德全,李绥艳,等. 20份玉米种质选系的利用潜力分析[J]. 玉米科学,2014,22(5):1-5.
- [12]陈泽辉,吴迅. 群体与数量遗传学[M]. 2版. 贵阳:贵州科技出版社,2019:148-150.
- [13]罗黎明,蒋辅燕,高连彰,等. 20个新选玉米自交系产量和穗部性状配合力及其相关性研究[J]. 西南农业学报,2021,34(10):2084-2092.
- [14]左淑珍,王光申,汤金涛,等. 14份新育玉米自交系应用潜力分析[J]. 玉米科学,2013,21(2):31-35.
- [15]Wang B B, Hou M, Shi J P, et al. De novo genome assembly and analyses of 12 founder inbred lines provide insights into maize heterosis[J]. Nature Genetics,2023,55(2):312-323.
- [16]Li S J, Dong X, Fu Z J, et al. Combining ability and correlation of ear characteristics of twenty maize inbred lines[J]. Agricultural Science & Technology,2017,18(9):1601-1606.
- [17]吴立东,刘亚婷,邱胤晖,等. 基于遗传距离和配合力预测辣椒辣度杂种优势[J]. 南方农业学报,2024,55(9):2580-2590.
- [18]连晓荣,周文期,杨彦忠,等. 16个新选玉米自交系主要性状配合力及应用潜力分析[J]. 分子植物育种,2024,22(5):1521-1531.
- [19]焦宇馨,张宇翔,杨文艳,等. 结合辅助性状的玉米全基因组选择预测力评估[J]. 江苏农业学报,2023,39(2):313-320.
- [20]闫海霞,柳家友,付家锋,等. 10个自选玉米自交系的穗部性状配合力及遗传参数分析[J]. 山东农业科学,2018,50(10):30-32.
- [21]彭林,慈佳宾,杨巍,等. 宜机收玉米品种选育及配合力分析[J]. 分子植物育种,2021,19(6):2073-2080.