

DOI:10.19462/j.cnki.zgzy.20250507006

# 25 个高粱杂交组合主要农艺性状评价与综合分析

王晓东 李俊志 窦爽 吴宏升 朱晓东 辛宗绪 肖继兵

(辽宁省旱地农林研究所,朝阳 122000)

**摘要:**为筛选适合辽西地区种植的高产稳产高粱杂交组合,对 25 个高粱杂交组合 13 个农艺性状进行变异系数分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明,13 个性状变异系数范围为 8.00%~27.01%,单穗粒重的变异系数最大。各性状之间存在不同程度的相关性,株高与产量呈极显著正相关,单穗粒重、单穗重和穗粒数与产量呈显著正相关,表明株高、单穗粒重、单穗重和穗粒数对产量影响较大。主成分分析在 13 个农艺性状中提取了 4 个主成分,累计贡献率达 83.327%,根据 4 个主成分的综合得分值进行排序,排名前 3 位的是 S14 (G147A×NF21-R69)、S23 (G147A×吉林 2676)、S24 (哲 405A×吉林 2676)。聚类分析发现,在欧式距离为 10 处可将 25 个高粱杂交组合分为三大类,类群 I 中的 S12 (G211A×NF21-R65)、S17 (哲 405A×NF21-R111)、S11 (G147A×NF21-R48)、S3 (G147A×NF21-R01)、S16 (哲 405A×NF21-R105)、S23、S24、S14 综合性状较好,具有较大的生产潜力和育种潜力。

**关键词:**高粱;农艺性状;相关性分析;主成分分析;聚类分析

## Evaluation and Comprehensive Analysis of Main Agronomic Traits of 25 Sorghum Hybrid Combinations

WANG Xiaodong, LI Junzhi, DOU Shuang, WU Hongsheng,  
ZHU Xiaodong, XIN Zongxu, XIAO Jibing

(Liaoning Institute of Dryland Agriculture and Forestry, Chaoyang 122000, Liaoning)

杂种优势利用是目前提高作物产量最重要的技术手段。高粱不同亲本各自携带独特的优良性状基因,通过杂交组合可将父本和母本的优势性状进行整合。这种性状的互补融合,打破了单一亲本在性状表现上的局限性,为培育出综合性状更优的高粱品种奠定了基础<sup>[1-2]</sup>。高粱(*Sorghum bicolor* L. Moench)是禾本科一年生草本植物,主要种植于热带、亚热带和温带地区的干旱、半干旱区,也是我国主要的杂粮作物之一<sup>[3-7]</sup>,是重要的酿造和医用工业原料<sup>[8]</sup>,同时是仅次于水稻、玉米、大豆和小麦的第五大重要的谷类作物<sup>[9-10]</sup>。辽西地区素有盛产小杂粮的美誉,是我国主要的高粱种植区域<sup>[11]</sup>。高粱产

量相关性状的提高主要依赖于各农艺性状和生物性状的改良和协调,因此,探究各性状对产量提高的作用,了解各性状受环境影响的变化规律,不仅可以加速目标性状的改良,同时也可以助力高效选育高粱优质高产新品种<sup>[12-14]</sup>。

主成分分析是目前在高粱杂交组合评价中使用较为广泛的方法之一。周伟等<sup>[12]</sup>通过主成分分析,从 176 份高粱品系的 16 个农艺性状中提取了 5 个主成分,累计贡献率达到 67.676%,结合同异分析法与主成分综合得分,筛选出 5 份综合性状较理想的品系。王自力等<sup>[15]</sup>对 152 份高粱种质资源的 13 个表型性状进行主成分分析,提取了 6 个主成分,累计贡献率为 78.579%,通过 6 个主成分贡献率权重构建综合评价指标,筛选出 10 份较为优异的高粱种质资源。高旭等<sup>[16]</sup>对 257 份高粱种质资源产量相

**基金项目:**国家现代农业产业技术体系(CARS-06-14.5-B16);国家重点研发计划项目(2022YFD1500602-1)

**通信作者:**肖继兵

关性状进行主成分分析,将15个农艺性状转化为5个主成分,累计贡献率为82.40%,聚类分析将25份高粱种质资源分为三大类,第I类群、第II类群中优异种质资源可作为高粱遗传改良的育种亲本。

目前,辽西地区由于气候环境比较特殊,常年高温干旱少雨,导致当地实际生产中应用的高粱品种产量不稳定,缺少适应性强、优质高产的当地主栽品种,为了保证当地高粱产业化发展,本研究选取中国农业科学院作物科学研究所选育的25个高粱杂交组合,通过对主要农艺性状进行变异系数分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析,旨在筛选出适宜辽西地区种植的高产稳产高粱杂交组合,为杂交高粱品种的选育和种质资源的创新奠定基础。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验于2023年在辽宁省旱地农林研究所示范基地进行,5-9月平均气温22.96℃,比往年高0.94℃;年均降雨量276.8mm,比往年少125.3mm,6-7月降雨量比往年少61.7mm;年均日照时数1122.4h,比往年少60.7h;无霜期150d左右。试验地前茬作物为谷子,供试土壤为砂壤质褐土,肥力中等,地势平坦。土壤有机质含量8.84g/kg、全氮含量0.60g/kg、有效磷含量28.90mg/kg、有效钾含量131.17mg/kg。

**1.2 试验材料** 参试高粱杂交组合共25个,均为中国农业科学院作物科学研究所选育,具体信息见表1。

**1.3 试验设计** 试验采用随机区组设计,每个小区种植6行,行长5m,行距60cm,小区面积18m<sup>2</sup>,3次重复。收获时去掉两侧边行,收中间行计产,收获面积12m<sup>2</sup>。前茬作物收获后及时翻耕,播种前进行备种、整种,于2023年5月20日进行播种,施磷酸二铵300kg/hm<sup>2</sup>作为底肥;6月8日间苗,留苗密度12万株/hm<sup>2</sup>,拔节期追施尿素300kg/hm<sup>2</sup>;7月24日和8月18日以沟灌的方式对每个小区进行灌水,定期人工除草及病虫害管理。

**1.4 测定项目及方法** 产量和农艺性状测定 高粱成熟期进行农艺性状指标测量,每小区取5株长势相近的植株,严格参照《高粱种质资源描述规范和数据标准》<sup>[17]</sup>测定株高、茎粗、穗长、穗茎粗、倒二叶长、倒二叶宽、倒三叶长、倒三叶宽、单穗重、单穗粒重、千粒重、穗粒数等指标,并计算折合每hm<sup>2</sup>产量。主成分分析 计算所调查性状的特征值和成分方差,再根据成分方差累计贡献率提取主成分;通过线性模型系数表将被测性状无量纲数据代入线性模型,求得25个高粱杂交组合的每个主成分得分,求和得到品种综合得分。聚类分析 对每个品种的加权综合得分进行聚类分析,以欧式距离为尺度,依据类间平均的最短距离进行归类。

**1.5 数据处理** 采用Excel 2010计算各性状平均值、标准差和变异系数,利用Origin 2021软件进行相关性绘图,采用SPSS Statistics 26进行主成分分析和聚类分析。

表1 供试高粱杂交组合亲本及选育单位

组合编号	选育单位	亲本	组合编号	选育单位	亲本
S1	中国农业科学院作物科学研究所	G138A × NF21-R01	S14	中国农业科学院作物科学研究所	G147A × NF21-R69
S2	中国农业科学院作物科学研究所	G146A × NF21-R01	S15	中国农业科学院作物科学研究所	G20A × NF21-R185
S3	中国农业科学院作物科学研究所	G147A × NF21-R01	S16	中国农业科学院作物科学研究所	哲 405A × NF21-R105
S4	中国农业科学院作物科学研究所	G150A × NF21-R01	S17	中国农业科学院作物科学研究所	哲 405A × NF21-R111
S5	中国农业科学院作物科学研究所	G20A × NF21-R03	S18	中国农业科学院作物科学研究所	哲 405A × NF21-R127
S6	中国农业科学院作物科学研究所	G138A × NF21-R03	S19	中国农业科学院作物科学研究所	哲 405A × CP21-R210
S7	中国农业科学院作物科学研究所	G139A × NF21-R03	S20	中国农业科学院作物科学研究所	G97 × T4
S8	中国农业科学院作物科学研究所	QL133 × NF21-R03	S21	中国农业科学院作物科学研究所	G204A × 吉林 2643
S9	中国农业科学院作物科学研究所	吉 2055A × NF21-R12	S22	中国农业科学院作物科学研究所	G137A × 吉林 2654
S10	中国农业科学院作物科学研究所	G20A × NF21-R48	S23	中国农业科学院作物科学研究所	G147A × 吉林 2676
S11	中国农业科学院作物科学研究所	G147A × NF21-R48	S24	中国农业科学院作物科学研究所	哲 405A × 吉林 2676
S12	中国农业科学院作物科学研究所	G211A × NF21-R65	S25	中国农业科学院作物科学研究所	G138A × NF21-R28
S13	中国农业科学院作物科学研究所	吉 2055A × NF21-R65			

## 2 结果与分析

**2.1 高粱杂交组合农艺性状分析** 由表2可知, 13个性状变异系数的范围为8.00%~27.01%, 其中单穗粒重的变异系数最大, 变异幅度为40.92~109.86g, 倒三叶长的变异系数最小, 变异幅度为59.14~73.74cm。除此之外, 性状间变异系数较大的还有穗粒数、株高、单穗重, 变异系数范围为23.21%~

26.78%, 变异幅度分别为1418.49~4226.35粒、100.70~222.43cm、60.57~136.64g。表明单穗粒重、穗粒数、株高、单穗重这4个性状的变异情况较为突出, 遗传多样性较高。变异系数较低的还有倒二叶长、千粒重、穗长, 变异系数范围为9.93%~11.72%, 变异幅度分别为52.13~66.83cm、22.25~30.89g、26.62~38.08cm, 表明这3个性状具有较为稳定的遗传

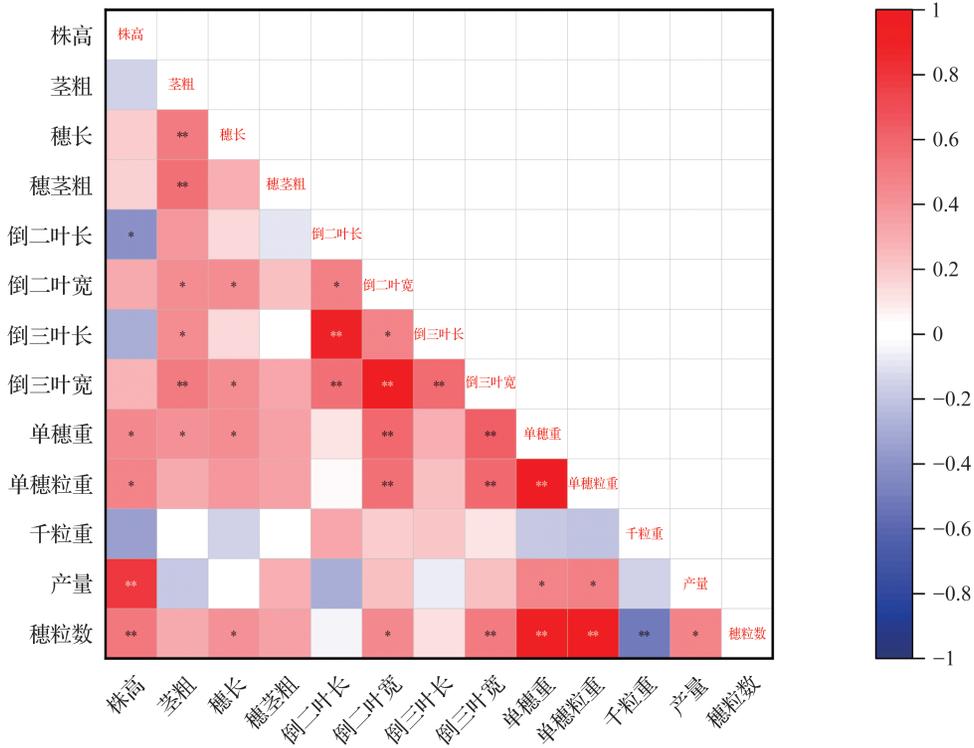
表2 25个高粱杂交组合农艺性状统计

组合编号	株高 (cm)	茎粗 (mm)	穗长 (cm)	穗茎粗 (mm)	倒二叶长 (cm)	倒二叶宽 (cm)	倒三叶长 (cm)	倒三叶宽 (cm)	单穗重 (g)	单穗粒重 (g)	穗粒数	千粒重 (g)	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )
S1	147.33	19.73	30.02	9.61	63.89	8.92	72.11	9.56	112.56	96.29	3815.37	25.16	7128.36
S2	133.57	20.00	31.75	9.45	61.42	8.74	69.82	9.77	108.45	86.15	3384.13	25.37	6931.86
S3	144.00	20.66	32.86	9.87	64.80	9.02	72.91	9.82	136.64	105.54	4050.64	26.10	7683.19
S4	129.63	17.33	28.04	9.42	61.00	7.82	72.44	8.29	78.62	60.24	2340.01	25.58	7865.24
S5	139.54	17.22	29.30	10.28	55.76	7.01	63.29	7.77	81.15	69.36	2729.24	25.27	7463.57
S6	124.19	18.29	32.34	9.22	62.21	8.46	68.45	8.94	87.32	68.73	2885.55	23.81	6030.28
S7	119.07	20.58	32.19	11.56	60.33	8.21	68.56	8.86	101.47	83.39	3323.71	25.48	7038.78
S8	120.22	18.68	28.76	10.50	58.78	6.83	67.02	7.92	77.04	64.54	2637.37	24.33	7830.56
S9	126.01	16.92	26.62	11.03	55.91	7.90	62.18	8.05	77.90	64.68	2197.49	29.64	7639.84
S10	187.99	18.22	35.75	10.78	52.13	7.83	59.14	8.14	87.63	74.11	3334.19	22.25	7373.99
S11	137.83	17.77	32.20	8.94	64.09	10.04	70.63	10.60	94.07	76.68	2589.80	29.74	7116.81
S12	195.59	17.63	34.17	10.69	65.56	9.03	73.74	10.06	98.40	80.84	2906.53	27.87	9440.13
S13	191.48	17.99	28.65	10.03	58.50	8.35	65.10	8.70	96.50	66.23	2576.98	25.69	8099.30
S14	159.18	21.66	36.31	12.16	63.87	9.97	70.32	10.54	119.51	93.59	3186.19	30.89	8374.15
S15	187.63	19.04	34.13	10.17	55.93	9.21	63.99	9.86	104.07	81.28	3297.44	24.65	8226.45
S16	174.88	19.09	30.20	11.63	63.21	9.85	70.79	11.03	112.32	94.63	4146.22	22.88	8084.89
S17	177.28	19.80	30.70	11.28	60.91	9.37	69.61	10.33	120.66	103.21	4136.28	24.96	8370.94
S18	222.43	18.54	28.11	10.20	55.47	8.63	63.85	8.93	94.18	77.92	3089.33	25.27	9286.97
S19	211.68	19.09	29.42	10.29	59.37	8.96	67.94	9.83	91.72	70.61	2979.63	23.71	9035.57
S20	207.23	20.52	38.08	10.65	59.73	8.91	67.58	9.69	110.36	90.19	4042.92	22.25	7880.13
S21	114.82	21.09	31.02	11.41	65.94	8.66	70.95	9.70	80.53	61.87	2272.91	27.14	6108.76
S22	103.03	19.27	31.34	9.22	66.83	9.15	69.70	9.66	64.79	51.28	1983.66	26.41	6405.94
S23	138.39	22.11	35.77	12.91	62.17	9.40	72.30	10.50	120.16	93.16	4014.37	23.29	8252.46
S24	213.83	20.15	32.06	12.30	58.09	9.79	68.01	10.93	125.30	109.86	4226.35	26.00	8769.72
S25	100.70	21.68	31.11	11.11	61.84	8.38	70.01	9.20	60.57	40.92	1418.49	29.01	5601.11
最小值	100.70	16.92	26.62	8.94	52.13	6.83	59.14	7.77	60.57	40.92	1418.49	22.25	5601.11
最大值	222.43	22.11	38.08	12.91	66.83	10.04	73.74	11.03	136.64	109.86	4226.35	30.89	9440.13
平均值	156.30	19.32	31.64	10.59	60.83	8.72	68.54	9.47	97.67	78.61	2983.99	25.71	7681.56
标准差	38.63	2.78	3.71	1.87	6.04	1.13	5.48	1.21	26.38	19.01	819.83	2.96	1103.37
变异系数(%)	24.72	14.39	11.72	17.70	9.93	13.00	8.00	12.74	23.21	27.01	26.78	11.53	14.36

特性。

**2.2 高粱杂交组合农艺性状相关性分析** 从不同高粱杂交组合农艺性状相关性可以看出,13个性状之间既相互关联、又相互制约(图1)。株高与产量、穗粒数呈极显著正相关,与单穗重、单穗粒重呈显著正相关,与倒二叶长呈显著负相关。茎粗与穗长、穗茎粗、倒三叶宽呈极显著正相关,与倒二叶宽、倒三叶长、单穗重呈显著正相关。穗长与倒二叶宽、倒三叶宽、单穗重、穗粒数呈显著正相关。倒二叶长

与倒三叶长、倒三叶宽呈极显著正相关,与倒二叶宽呈显著正相关。倒二叶宽与倒三叶宽、单穗重、单穗粒重呈极显著正相关,与倒三叶长、穗粒数呈显著正相关。倒三叶宽与单穗重、单穗粒重和穗粒数呈极显著正相关。单穗重与单穗粒重、穗粒数呈极显著正相关,与产量呈显著正相关。单穗粒重与穗粒数呈极显著正相关,与产量呈显著正相关。千粒重与穗粒数呈极显著正相关。产量与穗粒数呈显著正相关。



靠近正值红色即为正相关,靠近负值蓝色即为负相关; \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上存在显著、极显著相关性

图1 高粱13个农艺性状间的相关性

**2.3 高粱杂交组合农艺性状主成分分析** 由于所测性状的单位不同,将25个高粱杂交组合13个性状进行了无量纲化处理(表3)。通过主成分分析,提取了4个主成分,主成分1的特征值为5.264,贡献率为40.495%;主成分2的特征值为3.102,贡献率为23.864%;主成分3的特征值为1.375,贡献率为10.577%;主成分4的特征值为1.091,贡献率为8.391%,4个主成分的累计贡献率为83.327%,表明13个指标可以转化成4个独立的综合指标,并能够全面地反映供试材料所测指标的原始信息(表4)。

从主成分的因子载荷中可以看出(表5),主成分1中载荷值较高且数值为正的性状为单穗重(0.910)和单穗粒重(0.888),为穗粒重因子;主成

分2中载荷值较高且数值为正的性状为倒二叶长(0.871)和倒三叶长(0.735),为叶长因子;主成分3中载荷值较高且数值为正的性状为产量(0.436),为产量因子;主成分4中载荷值较高且数值为正的性状为穗茎粗(0.604)和千粒重(0.602),为穗粗和千粒重因子。

**2.4 高粱杂交组合的综合评价** 结合4个主成分的特征值和表5中的成分矩阵计算出特征向量,以特征向量为权重系数,构建4个主成分的函数表达式。 $F_1=0.211X_1+0.240X_2+0.251X_3+0.209X_4+0.123X_5+0.342X_6+0.187X_7+0.367X_8+0.397X_9+0.387X_{10}-0.068X_{11}+0.204X_{12}+0.369X_{13}$ ;  $F_2=-0.399X_1+0.256X_2+0.052X_3-0.037X_4+0.495X_5+0.183X_6+0.471X_7+0.199X_8-$

表3 25个高粱杂交组合农艺性状无量纲化处理结果

组合编号	株高	茎粗	穗长	穗茎粗	倒二叶长	倒二叶宽	倒三叶长	倒三叶宽	单穗重	单穗粒重	穗粒数	千粒重	产量
S1	-0.240	0.274	-0.564	-0.942	0.846	0.219	1.000	0.097	0.767	1.025	0.935	-0.239	-0.467
S2	-0.608	0.456	0.040	-1.096	0.189	0.003	0.380	0.317	0.555	0.437	0.369	-0.148	-0.661
S3	-0.329	0.900	0.427	-0.691	1.088	0.338	1.216	0.370	2.008	1.561	1.244	0.170	0.081
S4	-0.713	-1.341	-1.254	-1.124	0.077	-1.100	1.089	-1.234	-0.982	-1.065	-1.000	-0.057	0.260
S5	-0.448	-1.415	-0.815	-0.297	-1.317	-2.070	-1.388	-1.779	-0.852	-0.536	-0.490	-0.191	-0.136
S6	-0.858	-0.695	0.246	-1.317	0.399	-0.333	0.009	-0.552	-0.534	-0.573	-0.285	-0.827	-1.550
S7	-0.995	0.847	0.193	0.935	-0.101	-0.632	0.039	-0.636	0.195	0.277	0.290	-0.100	-0.555
S8	-0.964	-0.432	-1.003	-0.085	-0.513	-2.286	-0.378	-1.621	-1.064	-0.816	-0.610	-0.601	0.226
S9	-0.810	-1.617	-1.750	0.425	-1.277	-1.004	-1.689	-1.485	-1.019	-0.808	-1.187	1.710	0.038
S10	0.847	-0.742	1.435	0.184	-2.283	-1.088	-2.512	-1.391	-0.518	-0.261	0.304	-1.506	-0.224
S11	-0.494	-1.045	0.197	-1.586	0.900	1.561	0.599	1.187	-0.186	-0.112	-0.673	1.754	-0.478
S12	1.050	-1.139	0.884	0.098	1.291	0.350	1.441	0.621	0.037	0.129	-0.257	0.940	1.814
S13	0.940	-0.897	-1.042	-0.537	-0.588	-0.464	-0.898	-0.804	-0.061	-0.718	-0.690	-0.009	0.491
S14	0.077	1.574	1.631	1.512	0.841	1.477	0.515	1.124	1.125	0.868	0.110	2.254	0.698
S15	0.837	-0.190	0.870	-0.403	-1.272	0.566	-1.199	0.412	0.329	0.155	0.256	-0.461	0.616
S16	0.497	-0.156	-0.501	1.002	0.665	1.333	0.642	1.638	0.755	0.929	1.369	-1.232	0.477
S17	0.561	0.321	-0.327	0.666	0.053	0.758	0.323	0.904	1.184	1.426	1.356	-0.326	0.759
S18	1.768	-0.527	-1.230	-0.374	-1.394	-0.129	-1.237	-0.563	-0.180	-0.040	-0.017	-0.191	1.662
S19	1.480	-0.156	-0.773	-0.287	-0.356	0.267	-0.129	0.380	-0.307	-0.464	-0.161	-0.870	1.414
S20	1.361	0.806	2.248	0.059	-0.261	0.207	-0.227	0.233	0.654	0.671	1.234	-1.506	0.275
S21	-1.109	1.190	-0.215	0.791	1.392	-0.093	0.686	0.244	-0.884	-0.971	-1.089	0.622	-1.472
S22	-1.424	-0.035	-0.103	-1.317	1.629	0.494	0.347	0.202	-1.695	-1.585	-1.468	0.305	-1.179
S23	-0.479	1.876	1.442	2.234	0.389	0.794	1.051	1.082	1.159	0.843	1.196	-1.053	0.642
S24	1.538	0.557	0.148	1.647	-0.697	1.261	-0.110	1.533	1.424	1.812	1.474	0.126	1.152
S25	-1.486	1.587	-0.183	0.502	0.301	-0.429	0.431	-0.280	-1.912	-2.185	-2.210	1.436	-1.973

$0.093X_9-0.136X_{10}+0.308X_{11}-0.338X_{12}-0.210X_{13}$ ;  $F_3=0.247X_1-0.489X_2-0.377X_3-0.401X_4+0.183X_5+0.242X_6+0.187X_7+0.170X_8+0.023X_9+0.033X_{10}+0.301X_{11}+0.372X_{12}-0.099X_{13}$ ;  $F_4=0.138X_1+0.138X_2-0.006X_3+0.578X_4-0.188X_5+0.138X_6-0.219X_7+0.094X_8-0.130X_9-0.141X_{10}+0.576X_{11}+0.256X_{12}-0.286X_{13}$ ; 式中  $X_1\sim X_{13}$  是高粱杂交组合 13 个农艺性状数据标准

表4 25个高粱杂交组合主要性状主成分特征值和贡献率

主成分	初始特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
F <sub>1</sub>	5.264	40.495	40.495
F <sub>2</sub>	3.102	23.864	64.359
F <sub>3</sub>	1.375	10.577	74.936
F <sub>4</sub>	1.091	8.391	83.327

表5 25个高粱杂交组合主要性状主成分的因子载荷

性状	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
株高	0.484	-0.702	0.290	0.144
茎粗	0.551	0.451	-0.574	0.144
穗长	0.575	0.091	-0.442	-0.006
穗茎粗	0.479	-0.066	-0.470	0.604
倒二叶长	0.282	0.871	0.215	-0.196
倒二叶宽	0.785	0.322	0.284	0.144
倒三叶长	0.429	0.735	0.219	-0.229
倒三叶宽	0.843	0.350	0.199	0.098
单穗重	0.910	-0.163	0.027	-0.136
单穗粒重	0.888	-0.239	0.039	-0.147
千粒重	-0.157	0.543	0.353	0.602
产量	0.468	-0.595	0.436	0.267
穗粒数	0.846	-0.370	-0.116	-0.299

化后得到的数值。将4个主成分的方差贡献率作为权重系数,得到综合得分方程  $F=0.405F_1+0.239F_2+0.106F_3+0.084F_4$ 。根据F值,对25个高粱杂交组合的13个农艺性状进行综合评价,得分越高,综合表现越好。由表6可知,25个高粱杂交组合得分范围在-1.85~1.83之间。杂交组合S14、S23、S24、S3和S16综合得分较高,分别为1.83、1.41、1.31、1.19和1.10,可根据每个杂交组合的性状特点,将其作为优良的育种材料加以利用。

表6 25个高粱杂交组合的综合得分及排序

组合编号	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	加权综合得分	排名
S1	1.0272	0.8284	0.4873	-1.6672	0.53	9
S2	0.3557	0.7592	-0.1237	-1.2610	0.21	12
S3	2.5713	1.0481	0.1924	-1.4516	1.19	4
S4	-2.7674	0.3883	1.2387	-0.8677	-0.97	21
S5	-3.2414	-1.9833	-0.4246	-0.1651	-1.85	25
S6	-1.6494	0.7526	-0.4078	-1.8227	-0.68	18
S7	-0.0514	0.3866	-1.6664	0.0112	-0.10	13
S8	-2.9793	-0.8460	-0.7238	-0.4040	-1.52	23
S9	-3.5509	-1.1096	0.6017	1.8134	-1.49	22
S10	-1.3889	-3.5883	-2.0493	-0.1185	-1.65	24
S11	-0.0459	2.1541	2.1818	-0.0070	0.73	8
S12	1.2343	0.5602	2.1133	0.6334	0.91	7
S13	-1.5546	-1.4952	0.9516	0.2784	-0.86	20
S14	3.0491	1.7663	-0.1908	2.3079	1.83	1
S15	0.6578	-1.7645	-0.0638	0.2071	-0.14	15
S16	2.7409	-0.1004	0.5220	-0.5244	1.10	5
S17	2.5971	-0.6104	0.3452	-0.1357	0.93	6
S18	-0.5440	-2.8788	1.2353	0.7631	-0.71	19
S19	0.1602	-1.3772	1.1280	0.1889	-0.13	14
S20	2.2569	-1.3163	-1.3933	-0.8795	0.38	10
S21	-0.9740	2.9206	-1.0372	0.5832	0.24	11
S22	-2.2126	2.9129	0.4166	-0.5472	-0.20	16
S23	3.5082	0.7192	-1.9984	0.3127	1.41	2
S24	3.7526	-1.4058	0.2015	1.2050	1.31	3
S25	-2.9514	3.2795	-1.5364	1.5474	-0.44	17

2.5 高粱杂交组合的聚类分析 对25个高粱杂交组合进行系统聚类分析,在欧式距离为10处分为三大类,如图2所示。各类群农艺性状平均值结果见表7,各类群间产量性状差异较为明显。类群I包括S12、S17、S11、S3、S16、S23、S24、S14高粱杂交组合,此类群主要特征是株高中等,茎粗较细,穗长长,单穗重和单穗粒重大,穗粒数多,产量较高;类群II包括S15、S19、S7、S22、S25、S2、S21、S1、S20高粱杂交组合,此类群主要的特征是株高较矮,茎粗较细,穗长长,单穗重、单穗粒重和穗粒数中等,产量较低;类群III包括S6、S18、S4、S13、S8、S9、S10和S5高粱杂交组合,此类群主要特征是株高中等,茎粗较细,穗长短,单穗重和单穗粒重小,穗粒数少,产量适中。

表7,各类群间产量性状差异较为明显。类群I包括S12、S17、S11、S3、S16、S23、S24、S14高粱杂交组合,此类群主要特征是株高中等,茎粗较细,穗长长,单穗重和单穗粒重大,穗粒数多,产量较高;类群II包括S15、S19、S7、S22、S25、S2、S21、S1、S20高粱杂交组合,此类群主要的特征是株高较矮,茎粗较细,穗长长,单穗重、单穗粒重和穗粒数中等,产量较低;类群III包括S6、S18、S4、S13、S8、S9、S10和S5高粱杂交组合,此类群主要特征是株高中等,茎粗较细,穗长短,单穗重和单穗粒重小,穗粒数少,产量适中。

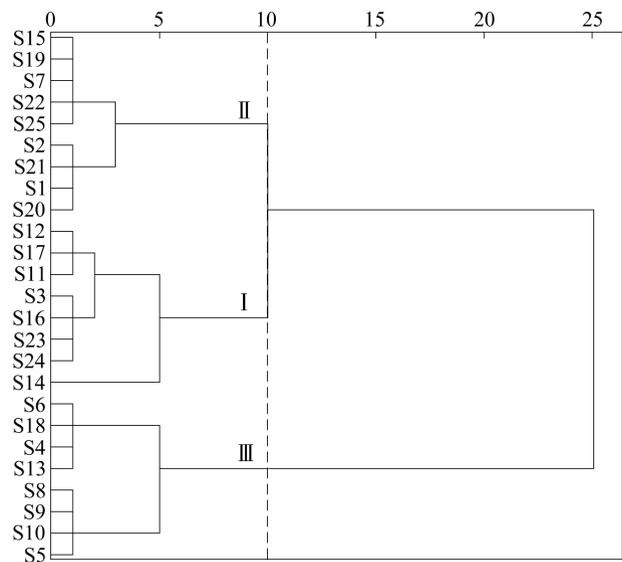


图2 25个高粱杂交组合聚类树状图

表7 各类群农艺性状平均值

性状	类群 I	类群 II	类群 III
株高	167.62a	147.23a	155.19a
茎粗	19.86a	20.11a	17.90b
穗长	33.03a	32.12ab	29.70b
穗茎粗	11.22a	10.39a	10.18a
倒二叶长	62.84a	61.70a	57.47b
倒二叶宽	9.56a	8.79b	7.85c
倒三叶长	71.04a	68.96a	65.19b
倒三叶宽	10.48a	9.57b	8.34c
单穗重	115.88a	92.72b	85.04b
单穗粒重	94.69a	73.55b	68.23b
穗粒数	3657.05a	2946.47b	2723.77b
千粒重	26.47a	25.46a	25.23a
产量	8261.54a	7150.77b	7698.72ab

同行不同小写字母表示不同类群高粱杂交组合在0.05水平上存在显著差异

### 3 讨论

变异系数是衡量各农艺性状相对值变异程度的标准,变异系数的大小可以反映性状的选育潜力<sup>[18]</sup>。变异系数分析结果表明,单穗粒重的变异系数最大,倒三叶长的变异系数最小,说明单穗粒重改良空间较大。其他性状变异系数较大的还有穗粒数、株高和单穗重,这与高进等<sup>[19]</sup>研究结果基本一致。上述分析可以说明,25个高粱杂交组合遗传差异较大,在13个农艺性状上变异较为丰富,可以通过优化亲本来对目标性状进行适度改良<sup>[20]</sup>。今后在辽西地区进行高粱杂交品种选育时,可优先考虑单穗粒重对产量的影响。本研究发现,25个高粱杂交组合的株高与产量呈极显著正相关;单穗粒重、单穗重和穗粒数与产量呈显著正相关;穗长、穗茎粗、倒二叶宽、倒三叶宽与产量呈正相关,但相关性相对较弱,这与付江鹏等<sup>[21]</sup>研究的结果基本一致。因此,在实际高粱品种选育过程中,依据栽培条件和气候环境等因素选择搭配不同性状是实现高产稳产的重要因素之一。

主成分分析是利用降维的思想,从作物众多农艺性状中筛选出多个综合因子,即通过较少的综合因子来解释原有的大部分变量信息。依据各因子的贡献率大小确定其重要性,从而根据综合信息评定各性状或杂交组合的综合表现<sup>[22]</sup>。本研究利用主成分分析法将25个高粱杂交组合的13个农艺性状指标转化为4个主成分,其中主成分1和主成分3可以综合归纳为产量因子,主成分2可以归纳为株型因子,主成分4可以归纳为穗部因子。特定性状对于不同育种目标的高粱而言,其选择潜力可以通过各主成分的载荷值得到更为客观的呈现<sup>[23]</sup>。聚类分析将25个高粱杂交组合分为三大类,类群I为优质型,表现出中等株高,产量较高等特点,但S12、S24高粱杂交组合株高相对较高,容易发生倒伏现象,有待进一步改良。类群II为矮秆型,表现出株高较矮,叶长较短等特点,此类群株高适宜机械化收获,符合新杂交种理念<sup>[24]</sup>。类群III主要表现为茎秆较细,所有供试材料均有此特点。高粱杂交品种选育的过程中,应依据本地气候特点和农业、生产、经济发展的需要,有针对性地选择各性状因子的最优搭配,提高育种效率,缩短育种时间。

### 4 结论

本研究通过对25个高粱杂交组合进行主成分分析以及综合得分分析得出,类群I中的S12(G211A×NF21-R65)、S17(哲405A×NF21-R111)、S11(G147A×NF21-R48)、S3(G147A×NF21-R01)、S16(哲405A×NF21-R105)、S23(G147A×吉林2676)、S24(哲405A×吉林2676)、S14(G147A×NF21-R69)高粱杂交组合综合性状较好,具有较大的生产潜力和育种潜力,有望进一步开发利用。同时,在开展高粱杂交种选育工作时,可着重关注单穗粒重、单穗重、倒二叶长以及穗茎粗等性状的筛选,实现各性状的优化组合。

### 参考文献

- [1]王黎明,焦少杰,严洪冬,姜艳喜,苏德峰,孙广全.甜高粱主要农艺性状的遗传性及其在杂交育种中的应用.山西农业大学学报:自然科学版,2020,40(3):9-14
- [2]Hamidou M, Souleymane O, Salifou M, Ba M N, Kapran I, Gracen V, Ofori K, Danquah E Y. Exploitation of hybrid vigor for identification of promising sorghum F<sub>1</sub> hybrid for high grain yield and resistance to sorghum midge. International Journal of Agronomy, 2020: 8853501
- [3]徐翠莲,梅拥军,吴全忠,赵淑珍,胡文明.40份高粱种质节间相关性状分布规律.西北农业学报,2016,25(10):1486-1493
- [4]郭冰玲,王润丰,王海莲,赵影星,刘宾,余双双,陈世华,张华文.高粱种质资源萌发期耐盐性鉴定与筛选.山东农业科学,2024,56(9):43-50
- [5]姜昱雯,陈满静,赵应,任艳,周棱波,沈佳奇,邵明波.高粱SBP基因家族鉴定及干旱胁迫下的表达模式分析.山东农业科学,2024,56(3):1-10
- [6]Zhang Y Z, Chen J, Gao Z F, Wang H Y, Liang D, Guo Q, Zhang X J, Fan X Q, Wu Y X, Liu Q S. Identification of heterosis and combining ability in the hybrids of male sterile and restorer sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] lines. PLoS ONE, 2024, 19(1):e0296416
- [7]周光怡,刘晓娟,王睿,安玉霞,覃显娇,任明见,王运帮.外源褪黑素对高粱苗期冷害的缓解作用研究.山东农业科学,2025,57(2):55-63
- [8]吴国江,周伟,余忠浩,李岩,吕静波,王振国,周亚星.基于主成分、灰色关联和DTOPSIS分析的176份糯高粱种质资源综合评价.河南农业科学,2023,52(5):40-51
- [9]Pandian B A, Sexton Bowser S, Prasad P V, Jugulam M. Current status and prospects of herbicide-resistant grain sorghum (*Sorghum bicolor*). Pest Management Science, 2021, 78(2):409-415
- [10]Beyene A, Hussien S, Pangirayi T, Mark L. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: A review. African Journal of Agricultural (下转第124页)

## 参考文献

- [1] 黄义德,曹流俭,武立权,严平,陈多璞,杨安中. 2003年安徽省中稻花期高温热害的调查与分析. 安徽农业大学学报,2004,31(4):385-388
- [2] 田小海,罗海伟,周恒多,吴晨阳. 中国水稻热害研究历史、进展与展望. 中国农学通报,2009,25(22):166-168
- [3] 申广勒,张从合,王慧,严志,周桂香,杨韦,黄艳玲,汪和廷,张云虎,陈琳,庞战士,王林. 利用自然异常高温开展耐高温水稻品种大群体筛选的方法研究与应用. 安徽农业科学,2022,50(17):18-21
- [4] 肖本泽,南波,张方玉. 长江中下游流域水稻试验品种的耐热性鉴定. 中国稻米,2022,28(6):21-26
- [5] 黄英金,罗永锋,黄兴作,饶志明,刘宜柏. 水稻灌浆期耐热性的品种间差异及其与剑叶光合特性和内源多胺的关系. 中国水稻科学,1999,13(4):205-210
- [6] Jagadish S V K, Craufurd P Q, Wheeler T R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Experimental Botany,2007,58(7):1627-1635
- [7] Asako K,Junya S,Kazuhiko S,Motohiko K,Norio I,Takeshi H,Katsura T,Masahiro Y,Toyohiro S. Detection and verification of QTLs associated with heat-induced quality decline of rice (*Oryza sativa* L.) using recombinant inbred lines and near-isogenic lines. Breed Science,2013,63(3):339-346
- [8] Lyman N B,Jagadish K S V,Nalley L L,Dixon B L,Siebenmorgen T. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high-temperature stress. PLoS ONE,2013,8(8):e72157
- [9] 谢晓金,李秉柏,李映雪,李昊宇,赵小艳,杨沈斌,王志明. 抽穗期高温胁迫对水稻产量构成要素和品质的影响. 中国农业气象,2010,31(3):411-415
- [10] 杨梯丰,张少红,王晓飞,黄章慧,赵均良,张桂权,刘斌. 水稻抽穗开花期耐热种质资源的筛选鉴定. 华南农业大学学报,2012,33(4):585-588
- [11] 查中萍,殷得所,万丙良,焦春海. 水稻种质资源开花期耐热性分析. 湖北农业科学,2016,55(1):17-19,23
- [12] 郭晓艺,熊洪,张林,蒋鹏,朱永川,周兴兵,刘茂,徐富贤. 杂交水稻恢复系和杂交组合的耐热性评价. 中国生态农业学报,2018,26(9):1343-1354
- [13] 胡声博. 水稻高温诱导颖花不育品种间差异及其机理研究. 北京:中国农业科学院,2013
- [14] 焦颖瑞,李玲依,杨仕会,胡健,曹红宇,刘雨菲,雷震胜,张红梅,王兵兵,霍帅宗,杨正林,李耘,杨波,何光华,姚贺盛. 长江上游水稻耐热性鉴定模型的构建与应用. 西南大学学报:自然科学版,2022,44(11):39-50
- [15] 池忠志,姜心禄,郑家国. 杂交水稻结实率的高温响应研究初报. 西南农业学报,2008,21(1):235-237
- [16] Ma Z M,Lv J,W W H,Fu D,Lv S Y,Ke Y G,Yang P F. Regulatory network of rice in response to heat stress and its potential application in breeding strategy. Molecular Breeding,2023,43(9):68
- [17] 陈云凤,黎世龄,罗筱平,李如意,管地发,吴青佼. 水稻抽穗扬花期抗高温品系筛选试验. 广东农业科学,2017,44(2):1-5
- [18] 胡声博,张玉屏,朱德峰,林贤青,向镜. 杂交水稻耐热性评价. 中国水稻科学,2012,26(6):751-756

(收稿日期:2025-05-27)

## (上接第115页)

- Research,2015,10(31):3029-3040
- [11] 马锦钰. 大力发展辽西地区特色农业. 现代农业,2012(4):58-59
- [12] 周伟,金广洋,余忠浩,周亚星. 176份糯高粱品系主要农艺性状综合评价. 江苏农业科学,2024,52(14):128-134
- [13] 韩永亮,张清华,罗河月,郭群,崔江慧,常金华,方路斌. 基于主成分和系统聚类分析法对高粱杂交组合的综合评价. 贵州农业科学,2022,50(11):13-19
- [14] 张一中,张晓娟,梁笃,郭琦,范昕琦,聂萌恩,王绘艳,赵文博,杜维俊,柳青山. 基于表型性状的高粱育种材料遗传多样性分析及综合评价. 中国农业科学,2023,56(15):2837-2853
- [15] 王自力,张北举,李魁印,陈松树,徐如宏,李鲁华,吴传喜,任明见. 高粱种质资源表型性状多样性分析及综合评价. 江苏农业科学,2022,50(18):115-121
- [16] 高旭,冯周,丁延庆,徐建霞,曹宁,程斌,汪灿,张立异. 257份高粱种质资源农艺性状的遗传多样性. 西南农业学报,2023,36(1):1-10
- [17] 陆平. 高粱种质资源描述规范和数据标准. 北京:中国农业出版社,2006
- [18] 杨珍,李斌,赵军,刘辉生,王凯,罗新华,殷稳娜. 甜高粱主要农艺性状与产量相关和通径分析. 中国糖料,2018,40(4):16-19
- [19] 高进,施庆华,蔡立旺,王永慧,戚永奎,施洋,王为,丁海洋,王海洋,孙艳茹,陈建平. 甜高粱新品种(系)主要农艺性状与产量的灰色关联度分析. 福建农业学报,2018,33(6):581-586
- [20] 王博,严亮亮,宋丽华. 宁夏5个野生酸枣种群遗传变异分析. 西北农业学报,2021,30(12):1824-1834
- [21] 付江鹏,柳发财,闫宝琴,赵智慧,李利利,王永栋,魏玮,周英霞. 不同高粱品种适应性综合评价与筛选. 西北农林科技大学学报:自然科学版. <https://link.cnki.net/urlid/61.1390.S.20241111.1712.005>
- [22] 崔新晓,宫慧慧,李艳丽,王欣,董玉岭,张秀荣,陈莹,赵军胜. 基于主成分分析的11个紫苏品系引种表现分析. 中国种业,2025(3):98-104
- [23] 董承光,李成奇,李生秀,周小凤,马晓梅,肖光顺,李保成. 棉花种质资源主要农艺性状的综合评价及聚类分析. 新疆农业科学,2011,48(3):425-427,429
- [24] 邹剑秋. 高粱育种与栽培技术研究新进展. 中国农业科学,2020,53(14):2769-2773

(收稿日期:2025-05-07)