

刘 敏,邓昌蓉,邵登魁,等.早熟结球甘蓝叶球农艺性状综合评价[J].江苏农业科学,2022,50(18):151-157.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.023

早熟结球甘蓝叶球农艺性状综合评价

刘 敏^{1,2}, 邓昌蓉^{1,2}, 邵登魁^{1,2}, 常 振^{1,2}, 任延靖^{1,2}

(1. 青海大学农林科学院/青海省蔬菜遗传与生理重点实验室,青海西宁 810016;

2. 青海大学/省部共建三江源生态与高原农牧业国家重点实验室,青海西宁 810016)

摘要:为建立早熟结球甘蓝综合评价体系,并筛选综合性状优良的早熟结球甘蓝品种。选用 14 个早熟结球甘蓝品种为材料,对测量的 33 个农艺性状指标进行变异分析、主成分分析、模糊综合评价以及聚类分析。结果表明,不同结球甘蓝各性状变异系数介于 4.68%~30.12%之间。各品种指标间存在差异,其中球叶数与中心柱高,中肋长与中肋外表面积,中肋中部厚度与中肋上部厚度、中肋下部厚度,中心柱下部宽度与中心柱表面积,叶皱缩度与叶球宽,中部叶间距与上部叶间距、下部叶间距,叶纵卷指数与叶侧卷指数、叶长、叶宽之间均呈极显著正相关;主成分分析提取了叶片着生、中心柱、叶球、厚度、质量、中心柱上部宽度因子,累贡献率为 81.701%,表明以上 6 个为关键因子;计算因子综合得分并进行排序,排名前 5 的品种依次为 20-H16、日本绿玉、20-H22、20-H18、XC60-3;对 33 个分析指标进行模糊综合评价,综合隶属函数得分排名结果与因子综合得分结果一致,表明该评价体系具有可行性。结果表明,20-H16 综合得分最高,品质最优,可进一步作为甘蓝育种的材料。

关键词:结球甘蓝;农艺性状;模糊综合评价;变异分析;主成分分析;聚类分析

中图分类号: S635.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)18-0151-07

结球甘蓝(*Brassica oleracea*)是十字花科芸薹属二年生蔬菜作物^[1],起源于地中海沿岸^[2]。因其适应性好、抗逆性强、产量高等特性,于 17 世纪末传入我国后,成为东北、西北、华北等地区春、夏、秋的主栽蔬菜之一^[3]。叶球作为结球甘蓝主要的商品器官,其性状优劣决定了市场价值,同时叶球性状的综合评价也是资源创制和品种选育的重要基础工作。叶球性状表现型是由环境和基因协同作用的结果^[4]。前人研究结球甘蓝叶片性状时通常将外叶指标与叶球指标结合分析,针对叶球性状进行系统分析的报道较少。主成分分析、模糊隶属函数评价法和聚类分析是种质资源评价研究中常用的方法,目前在辣椒^[5]、油菜^[6]、秋葵^[7]、苜蓿^[8]、大蒜^[9]等多种作物种质研究方面得到广泛应用。

本研究选用 14 个早熟结球甘蓝品种的 33 个叶

球性状指标作为研究对象,对各指标进行变异分析、相关性分析,进而利用主成分分析提取关键主成分并简化评价指标,根据主成分综合得分和模糊综合评价进行品种间比较,最终筛选出适宜在青海地区种植的优质资源,以期为早熟结球甘蓝资源评价和品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的 14 个材料(表 1)于 2021 年 3 月 28 日育苗,4 月 21 日选取大小一致的苗移栽于青海大学农林科学院园艺研究所试验基地大田,常规田间管理。试验采用随机区组设计,小区面积为 16.5 m² (5.5 m×3.0 m),定植 76 株,重复 3 次。根据材料熟性,于 2021 年 7 月中旬至 8 月上旬,分批对结球甘蓝农艺性状指标进行测定。

1.2 性状测定

测量结球甘蓝的农艺性状(表 2),每个品种随机取 5 株。参照余琳的方法^[10]测定叶纵卷指数、叶侧卷指数。

1.3 数据统计分析

采用 Excel、SPSS 26.0 软件进行遗传变异分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析;用 Origin、

收稿日期:2022-03-09

基金项目:青海省科技厅应用基础研究项目(编号:2020-ZJ-766);

青海省科技厅重点实验室项目(编号:2020-ZJ-Y02)。

作者简介:刘 敏(1998—),女,山东淄博人,硕士研究生,主要从事蔬菜遗传育种研究。E-mail:liumin0344@163.com。

通信作者:邵登魁,博士研究生,副研究员,主要从事蔬菜种质资源创新利用与遗传特性研究。E-mail:sdk2003-2003-2003@163.com。

表 1 供试早熟结球甘蓝材料

| 编号 | 品种名称 | 球形 | 品种来源 |
|-----|----------|----|----------------------------------|
| Y1 | 20 - H3 | 圆球 | 邢台市蔬菜种子公司 |
| Y2 | 20 - H16 | 圆球 | 邢台市蔬菜种子公司 |
| Y3 | 20 - H18 | 圆球 | 邢台市蔬菜种子公司 |
| Y4 | 20 - H21 | 圆球 | 邢台市蔬菜种子公司 |
| Y5 | 20 - H22 | 圆球 | 邢台市蔬菜种子公司 |
| Y6 | 精选 8398 | 圆球 | 邢台市三农种业有限公司 |
| Y7 | 日本绿玉 | 圆球 | 邢台市金品农业科技开发中心 |
| Y8 | XC60 - 3 | 圆球 | 邢台市佳利合种苗有限公司 |
| Y9 | 爽月 | 圆球 | 邢台市金品农业科技开发中心 |
| Y10 | 中华宝玉 | 圆球 | 邢台市北方甘蓝研究所 |
| Y11 | 中甘 21 | 圆球 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京中蔬园艺良种研究开发中心 |
| Y12 | 托福 | 圆球 | 北京市农林科学院蔬菜研究中心 |
| Y13 | 中甘十一 | 近圆 | 中蔬种业科技(北京)有限公司 |
| Y14 | 北甘秀月 | 近球 | 邢台市北方甘蓝研究所 |

表 2 农艺性状测定指标及方法

| 编号 | 农艺性状指标 | 测量方法 |
|-----|--------------------------|--|
| K1 | 叶球抗压力(N) | 硬度计 |
| K2 | 球叶数(张) | 人工计数 |
| K3 | 叶长(cm) | 卷尺 |
| K4 | 叶宽(cm) | 卷尺 |
| K5 | 叶形指数 | 叶长/叶宽 |
| K6 | 叶基部厚度(mm) | 游标卡尺 |
| K7 | 叶尖厚度(mm) | 游标卡尺 |
| K8 | 中肋长(cm) | 卷尺 |
| K9 | 中肋下部宽度(mm) | 游标卡尺 |
| K10 | 中肋中部宽度(mm) | 游标卡尺 |
| K11 | 中肋上部宽度(mm) | 游标卡尺 |
| K12 | 中肋下部厚度(mm) | 游标卡尺 |
| K13 | 中肋中部厚度(mm) | 游标卡尺 |
| K14 | 中肋上部厚度(mm) | 游标卡尺 |
| K15 | 中肋外表面积(cm ²) | K15 = (a + b) × h/2; a 为中肋上部宽度; b 为中肋下部宽度; h 为中肋长 |
| K16 | 中肋拉力(N) | 拉力计 |
| K17 | 中心柱高(cm) | 卷尺 |
| K18 | 中心柱下部宽度(cm) | 卷尺 |
| K19 | 中心柱上部宽度(cm) | 卷尺 |
| K20 | 中心柱表面积(cm ²) | K20 = πL (R + r), L = √(R - r) ² + h ² ; L 为母线; R 为下底半径; r 为上底半径 |
| K21 | 球叶附着面积(cm ²) | 球叶数/中心柱表面积 |
| K22 | 叶面积(cm ²) | 打孔称质量法 |
| K23 | 叶皱缩度(cm ²) | 叶面积/展叶面积 |
| K24 | 下部叶间距(mm) | 游标卡尺 |
| K25 | 中部叶间距(mm) | 游标卡尺 |
| K26 | 上部叶间距(mm) | 游标卡尺 |
| K27 | 叶球高(cm) | 卷尺 |
| K28 | 叶球宽(cm) | 卷尺 |
| K29 | 叶纵卷指数 | 参照文献[10] |
| K30 | 叶侧卷指数 | 参照文献[10] |
| K31 | 纵切指数 | 纵切层数/中心柱高 |
| K32 | 单球质量(kg) | 电子秤 |
| K33 | 紧实度 | K33 = $\frac{W}{\frac{\pi}{6}DH^2}$; W 为单叶球质量; D 为叶球横径; H 为叶球纵径 |

Knime 软件^[11-13]作图;采用隶属函数法进行模糊综合评价^[14-16],计算每个主成分隶属函数值 $U(x)$ 。

$$U(x) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min});$$
$$D = \sum U \times W。$$

式中: X 为综合指标值; X_{\max} 为综合指标最大值; X_{\min} 为综合指标最小值; D 为综合得分; $\sum U$ 为各主成分的累加隶属函数值; W 为主成分权重。

2 结果与分析

2.1 甘蓝主要农艺性状变异幅度分析

对 14 个结球甘蓝品种的 33 个农艺性状进行变异分析发现(表 3),变异系数在 4.68% ~ 30.12% 之间。中心柱表面积变异系数最大,为 30.12%,变异幅度为 33.71% ~ 86.22%,叶形指数变异系数最小,为 4.68%,变幅为 0.86% ~ 1.03%。叶面积、叶纵卷指数、中部叶间距、叶侧卷指数、中肋拉力变异系数较高,均在 25% 以上,说明在本研究中这些农艺性状变异丰富,在育种工作中有较好的应用价值。

2.2 相关性分析

由图 1 可知,叶长与叶宽、叶纵卷指数、叶侧卷指数呈极显著正相关,与叶面积、下部叶间距、上部叶间距呈极显著负相关;叶宽与叶纵卷指数、叶侧卷指数呈极显著正相关,与叶面积呈极显著负相关;中肋长与中肋外表面积呈极显著正相关;中肋中部宽度与叶球质量呈极显著负相关;中肋下部厚度与中肋中部厚度呈极显著正相关,与叶形指数、中肋

长呈极显著负相关;中肋中部厚度与中肋上部厚度呈极显著正相关;中肋拉力与纵切指数呈极显著负相关;中心柱高与球叶数呈极显著正相关;中心柱下部宽度与中心柱表面积呈极显著正相关,与球叶附着面积呈极显著负相关;中心柱表面积与球叶附

表 3 不同品种结球甘蓝主要农艺性状

| 性状 编号 | 极差 | 平均值 | 标准差 | 变异幅度 | 变异系数 (%) |
|-----------------------|--------|--------|--------|---------------|-------------|
| K1(N) | 18.13 | 51.79 | 5.16 | 42.00~60.13 | 9.96 |
| K2(张) | 22.80 | 40.85 | 6.12 | 31.00~53.80 | 14.98 |
| K3(cm) | 6.71 | 19.20 | 2.12 | 17.08~23.79 | 11.02 |
| K4(cm) | 7.83 | 20.46 | 2.00 | 17.92~25.75 | 9.77 |
| K5 | 0.18 | 0.93 | 0.04 | 0.86~1.03 | 4.68 |
| K6(mm) | 0.99 | 1.14 | 0.24 | 0.80~1.79 | 21.29 |
| K7(mm) | 0.27 | 0.36 | 0.06 | 0.28~0.55 | 17.60 |
| K8(mm) | 9.55 | 13.05 | 2.27 | 10.67~20.22 | 17.43 |
| K9(mm) | 5.26 | 17.07 | 1.44 | 14.63~19.88 | 8.44 |
| K10(mm) | 2.94 | 8.83 | 0.71 | 7.08~10.02 | 8.07 |
| K11(mm) | 2.86 | 6.09 | 0.72 | 4.21~7.07 | 11.90 |
| K12(mm) | 5.09 | 11.23 | 1.25 | 8.08~13.17 | 11.11 |
| K13(mm) | 1.74 | 8.68 | 0.51 | 7.71~9.45 | 5.82 |
| K14(mm) | 1.58 | 5.95 | 0.41 | 5.21~6.79 | 6.92 |
| K15(cm ²) | 7.37 | 15.72 | 2.02 | 13.37~20.74 | 12.85 |
| K16(N) | 16.63 | 17.41 | 4.54 | 12.03~28.67 | 26.06 |
| K17(cm) | 4.35 | 7.61 | 1.43 | 5.93~10.28 | 18.81 |
| K18(cm) | 1.24 | 3.33 | 0.35 | 2.79~4.03 | 10.52 |
| K19(cm) | 0.51 | 0.82 | 0.15 | 0.60~1.11 | 18.76 |
| K20(cm ²) | 52.51 | 55.51 | 16.72 | 33.71~86.22 | 30.12 |
| K21(cm ²) | 0.63 | 0.79 | 0.20 | 0.45~1.08 | 24.76 |
| K22(cm ²) | 495.80 | 497.33 | 140.84 | 251.48~747.28 | 28.32 |
| K23(cm ²) | 0.31 | 0.53 | 0.09 | 0.41~0.72 | 17.31 |
| K24(mm) | 10.48 | 11.98 | 2.87 | 7.15~17.63 | 23.98 |
| K25(mm) | 10.27 | 11.36 | 3.06 | 6.31~16.58 | 26.96 |
| K26(mm) | 9.61 | 10.58 | 2.51 | 5.09~14.70 | 23.74 |
| K27(cm) | 2.98 | 17.10 | 1.02 | 15.90~18.88 | 5.96 |
| K28(cm) | 3.24 | 17.99 | 0.85 | 16.38~19.62 | 4.74 |
| K29 | 0.22 | -0.28 | 0.08 | -0.37~-0.15 | 27.70 |
| K30 | 0.20 | -0.26 | 0.07 | -0.34~-0.15 | 26.60 |
| K31 | 1.03 | 1.92 | 0.31 | 1.20~2.23 | 15.91 |
| K32(kg) | 1.68 | 2.22 | 0.45 | 1.56~3.24 | 20.37 |
| K33 | 0.14 | 0.70 | 0.05 | 0.63~0.77 | 6.67 |

着面积呈极显著负相关;叶皱缩度与叶球宽呈极显著正相关;上部叶间距与下部叶间距、中部叶间距呈极显著正相关。

2.3 主成分分析

为了保证结果的可靠性,将 33 个农艺性状指标数据采用最小-最大值法(min-max)标准化后进行主成分分析,得到主成分特征值及方差贡献率见表 4,因子载荷矩阵见表 5。基于特征值大于 1 的原则,提取到 6 个主成分,累计贡献率达到 81.701%,可包含原始数据大部分信息。

由表 4、表 5 可知,第 1 主成分贡献率为 30.061%,其大小主要受中肋下部宽度、中肋拉力、中部叶间距、中肋下部厚度、上部叶间距的影响,反映了结球甘蓝的叶片着生情况,定义为叶片着生因子。第 2 主成分贡献率为 14.248%,其大小主要受中心柱表面积、中心柱下部宽度、中心柱高的影响,可定义为中心柱因子。第 3 主成分贡献率为 11.493%,其大小主要由叶球宽和叶球高决定,可定义为叶球因子。第 4 主成分贡献率为 9.957%,其大小主要受叶尖厚度的影响,可定义为叶片厚度因子。第 5 主成分贡献率为 9.541%,其大小主要由单球质量决定,可定义为单球质量因子。第 6 主成分贡献率为 6.400%。

结合相关性分析与主成分分析的结果,在叶片着生因子中,中肋下部宽度与上部叶间距呈显著性正相关,与中部叶间距呈极显著正相关。在中心柱因子中,中心柱表面积与中心柱高呈显著性正相关,与中心柱下部宽度呈极显著正相关。因此可将不同品种结球甘蓝叶球综合评价因子简化为中肋拉力、中部叶间距、中肋下部厚度、中心柱下部宽度、叶球宽、叶球高、单球质量、中心柱上部宽度。

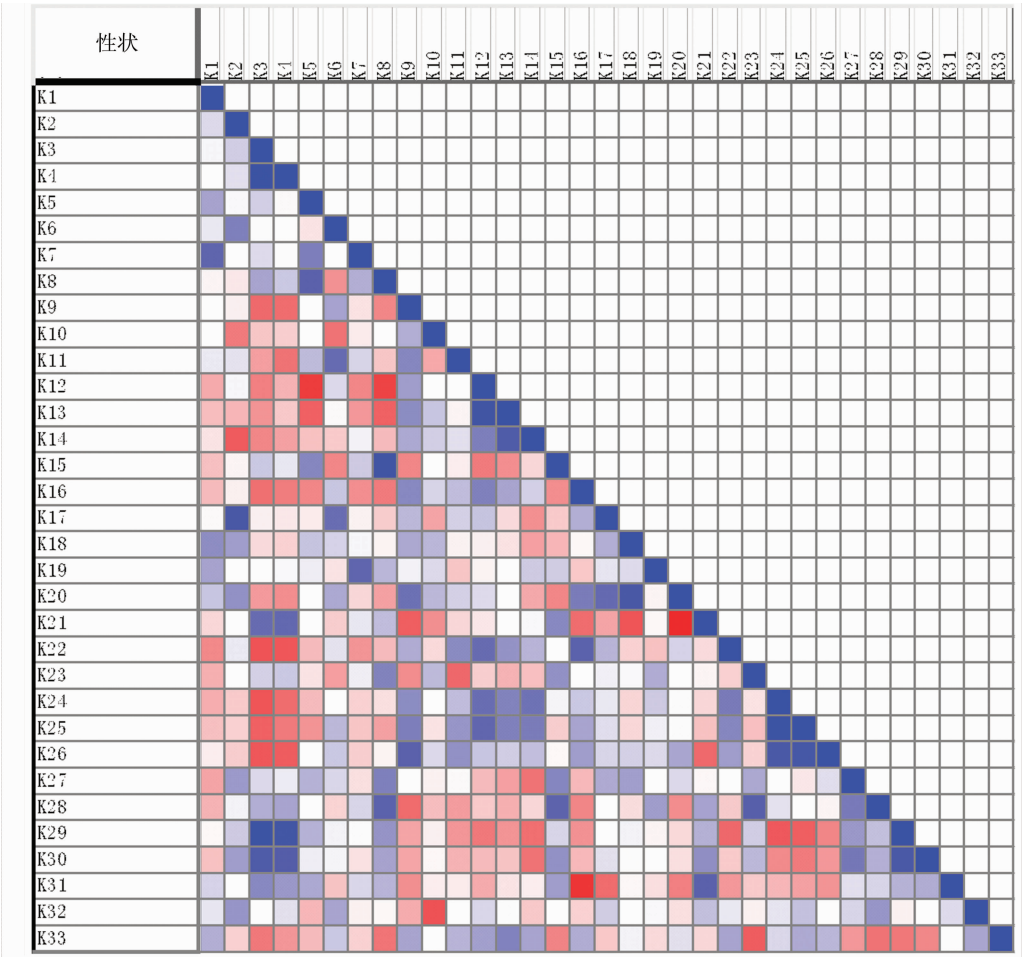
2.4 综合评价比较

利用各主成分得分,以及各主成分的贡献率占累计贡献率的比例作为权重,得到主成分综合得分表达式,即 $F = 0.3061F_1 + 0.1425F_2 + 0.1149F_3 + 0.9957F_4 + 0.9541F_5 + 0.6400F_6$ 。计算得到不同品种结球甘蓝的综合得分和排名(表 6)。叶球商品性综合排名在前 7 的结球甘蓝品种分别是 20-H16、日本绿玉、20-H22、20-H18、XC60-3、20-H21、中华宝玉。

分别以第 2 主因子(中心柱因子)、第 3 主因子(叶球因子)、第 4 主因子(叶片厚度因子)、第 5 主因子(单球质量因子)、第 6 主因子为纵坐标,以第 1 主因子(叶片着生因子)为横坐标绘制散点图,能够直观地表达各结球甘蓝品种在 6 个因子中的分布(图 2)。主因子值越高其商品性越好。提取第 1 主因子与第 2 主因子、第 3 主因子、第 4 主因子、第 5 主因子、第 6 主因子综合性状表现最好的结球甘蓝品种为 20-H16。

2.5 模糊综合评价

分别对结球甘蓝的 33 个指标进行模糊综合评价,根据综合隶属函数得分进行排序。由图 3 可知,综合排名前 5 的品种分别为 20-H16(0.67)、日本



蓝色色块颜色越深表示正相关关系越显著；红色色块颜色越深表示负相关关系越显著；颜色最深表示在 0.01 水平上显著相关

图1 不同结球甘蓝农艺性状的相关性分析

表 4 主成分特征值及方差贡献率

| 主成分 | 特征值 | 方差贡献率 (%) | 累计方差贡献率 (%) |
|-----|-------|-----------|-------------|
| 1 | 9.920 | 30.061 | 30.061 |
| 2 | 4.702 | 14.248 | 44.310 |
| 3 | 3.793 | 11.493 | 55.803 |
| 4 | 3.286 | 9.957 | 65.760 |
| 5 | 3.149 | 9.541 | 75.301 |
| 6 | 2.112 | 6.400 | 81.701 |
| 7 | 1.624 | 4.923 | 86.623 |
| 8 | 1.438 | 4.356 | 90.980 |
| 9 | 1.183 | 3.585 | 94.564 |
| 10 | 0.686 | 2.080 | 96.644 |
| 11 | 0.472 | 1.429 | 98.073 |
| 12 | 0.428 | 1.296 | 99.369 |
| 13 | 0.208 | 0.631 | 100.000 |

绿玉(0.65)、20-H22(0.62)、20-H18(0.61)、XC60-3(0.58)。其中 20-H16 中肋性状好,属于耐运输的优良品种;日本绿玉单球质量、紧实度较

大,商品性较好;20-H22 叶面积大、中肋厚度较小,食用口感较好;20-H18 叶皱缩度高、紧实度较大,中心柱小;XC60-3 叶片性状较好。而托福、精选 8398、20-H3 等 3 个甘蓝品种综合性状表现较差,不建议作为优选品种。

2.6 聚类分析

基于主成分分析得到的 6 个主成分进行系统聚类分析(图 4)。在遗传距离为 10 时,14 个品种可分为 3 类:Ⅰ类聚集了中华宝玉、中甘 21、北甘秀月、20-H3、托福、爽月、中甘十一、日本绿玉、精选 8398 9 个综合排名靠后的甘蓝品种;Ⅱ类聚集了 20-H21、20-H22 2 个中心柱表面积、中心柱下部宽度较大的甘蓝品种;Ⅲ类聚集了 20-H16、XC60-3、20-H18 3 个叶球高、叶球宽较大的甘蓝品种。

3 讨论与结论

不同结球甘蓝品种各农艺性状之间存在显著

表 5 因子载荷矩阵

| 性状编号 | 载荷 | | | | | | 性状编号 | 载荷 | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 因子 1 | 因子 2 | 因子 3 | 因子 4 | 因子 5 | 因子 6 | | 因子 1 | 因子 2 | 因子 3 | 因子 4 | 因子 5 | 因子 6 |
| K1 | -0.07 | 0.31 | -0.72 | 0.31 | 0.18 | 0.43 | K18 | 0.12 | 0.76 | -0.21 | 0.13 | -0.22 | 0.30 |
| K2 | -0.12 | 0.62 | 0.39 | 0.07 | 0.33 | 0.16 | K19 | -0.10 | 0.00 | 0.03 | 0.45 | -0.33 | 0.64 |
| K3 | -0.87 | 0.14 | -0.02 | -0.24 | 0.21 | -0.02 | K20 | 0.48 | 0.83 | 0.03 | -0.01 | -0.18 | 0.08 |
| K4 | -0.78 | 0.02 | 0.07 | -0.39 | 0.22 | 0.22 | K21 | -0.61 | -0.59 | 0.13 | -0.08 | 0.45 | -0.02 |
| K5 | -0.44 | 0.24 | -0.41 | 0.56 | -0.13 | -0.40 | K22 | 0.64 | -0.14 | 0.43 | 0.09 | 0.15 | -0.37 |
| K6 | 0.42 | 0.47 | 0.13 | 0.06 | 0.55 | 0.02 | K23 | -0.40 | 0.06 | 0.47 | -0.06 | -0.65 | 0.21 |
| K7 | -0.39 | 0.00 | -0.40 | 0.69 | 0.11 | 0.20 | K24 | 0.62 | -0.36 | 0.41 | 0.41 | -0.11 | 0.07 |
| K8 | -0.74 | -0.23 | 0.21 | 0.49 | -0.21 | -0.12 | K25 | 0.73 | -0.26 | 0.34 | 0.30 | 0.11 | 0.11 |
| K9 | 0.76 | 0.28 | -0.16 | 0.10 | -0.10 | -0.11 | K26 | 0.68 | 0.08 | 0.17 | 0.45 | -0.19 | -0.06 |
| K10 | 0.18 | -0.02 | -0.32 | -0.24 | -0.81 | 0.02 | K27 | -0.34 | 0.43 | 0.52 | 0.26 | -0.11 | -0.19 |
| K11 | 0.43 | 0.12 | -0.14 | 0.48 | 0.43 | -0.52 | K28 | -0.55 | -0.19 | 0.61 | 0.33 | -0.17 | 0.28 |
| K12 | 0.70 | -0.23 | 0.42 | -0.29 | 0.10 | 0.27 | K29 | -0.73 | 0.34 | 0.02 | -0.34 | 0.03 | -0.11 |
| K13 | 0.63 | -0.44 | 0.05 | -0.36 | 0.05 | 0.27 | K30 | -0.65 | 0.23 | 0.32 | -0.31 | 0.08 | -0.12 |
| K14 | 0.50 | -0.71 | -0.18 | 0.08 | -0.11 | 0.11 | K31 | -0.59 | -0.31 | -0.30 | 0.11 | 0.30 | 0.00 |
| K15 | -0.55 | -0.41 | 0.41 | 0.43 | -0.13 | -0.24 | K32 | -0.05 | 0.01 | 0.37 | 0.22 | 0.62 | 0.46 |
| K16 | 0.75 | 0.14 | 0.16 | -0.32 | -0.13 | -0.23 | K33 | 0.61 | -0.16 | -0.38 | 0.00 | 0.42 | 0.16 |
| K17 | 0.21 | 0.70 | 0.52 | 0.07 | 0.17 | 0.05 | | | | | | | |

表 6 不同结球甘蓝品种因子综合得分及排名

| 品种编号 | 得分 | | | | | | 综合得分 | 排名 |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| | 因子 1 | 因子 2 | 因子 3 | 因子 4 | 因子 5 | 因子 6 | | |
| Y1 | -0.323 0 | -0.903 2 | -0.675 2 | -0.770 8 | 0.238 6 | -1.707 0 | -0.466 6 | 12 |
| Y2 | 1.129 6 | 0.489 0 | 0.751 4 | 0.311 9 | -0.185 3 | 0.778 5 | 0.558 8 | 1 |
| Y3 | 1.658 8 | -0.383 9 | 0.596 4 | -0.969 3 | -1.000 9 | -0.115 0 | 0.313 1 | 4 |
| Y4 | 0.913 0 | 0.938 7 | -2.184 2 | -0.106 7 | -0.459 9 | -0.230 5 | 0.087 9 | 6 |
| Y5 | 0.893 8 | 1.518 9 | 0.365 0 | -0.800 5 | -0.340 5 | -0.858 0 | 0.359 9 | 3 |
| Y6 | -1.780 6 | 0.373 5 | 0.057 5 | 1.166 3 | -1.773 7 | -0.788 2 | -0.579 0 | 13 |
| Y7 | 0.416 8 | 0.224 7 | 0.325 2 | 1.035 8 | 0.770 1 | 1.543 3 | 0.470 1 | 2 |
| Y8 | -0.850 8 | 1.804 5 | 0.207 0 | 0.126 8 | 2.261 0 | -0.398 7 | 0.228 0 | 5 |
| Y9 | -0.559 2 | -0.005 6 | 2.160 5 | -0.155 8 | -0.715 1 | 0.091 6 | 0.001 6 | 8 |
| Y10 | 0.109 4 | -1.260 9 | 0.465 1 | 0.708 9 | 0.715 1 | -0.551 3 | 0.010 2 | 7 |
| Y11 | 0.237 5 | -1.267 3 | 0.011 6 | 0.494 6 | 0.894 1 | -1.134 3 | -0.045 9 | 10 |
| Y12 | -1.517 7 | -0.430 0 | -0.325 7 | -2.502 3 | 0.149 0 | 1.367 5 | -0.702 3 | 14 |
| Y13 | -0.627 3 | 0.218 6 | -1.014 9 | 1.019 9 | -0.880 9 | 0.854 9 | -0.201 9 | 11 |
| Y14 | 0.299 7 | -1.317 1 | -0.739 9 | 0.441 2 | 0.328 3 | 1.147 1 | -0.033 9 | 9 |

差异。张秀荣等以 9 个越冬甘蓝品种进行变异系数分析表明,各品种的性状指标存在差异^[17]。申领艳等以 35 个结球甘蓝为材料,进行因子分析、综合评价,筛选出 15 个综合品质较好的品种^[18]。上述研究包含叶球与外叶性状,研究指标较宽泛,不够聚焦,本研究选取 14 种结球甘蓝材料,针对叶球性状,运用主成分分析、因子综合评价和模糊隶属函数综合评价法进行分析,研究范围、思路与方法比较精准。

在本研究中结球甘蓝的 33 个农艺性状之间均存在变异,其中中心柱表面积的变异系数最大,中心柱表面积与中肋下部宽度、中心柱高呈显著正相关,与中心柱下部宽度呈极显著正相关,与球叶附着面积呈极显著负相关。中肋下部宽度、中心柱高变异系数分别为 8.44%、18.81%,中心柱下部宽度变异系数为 10.52%,球叶附着面积变异系数为 24.76%。可选择球叶附着面积大、中心柱小的品种

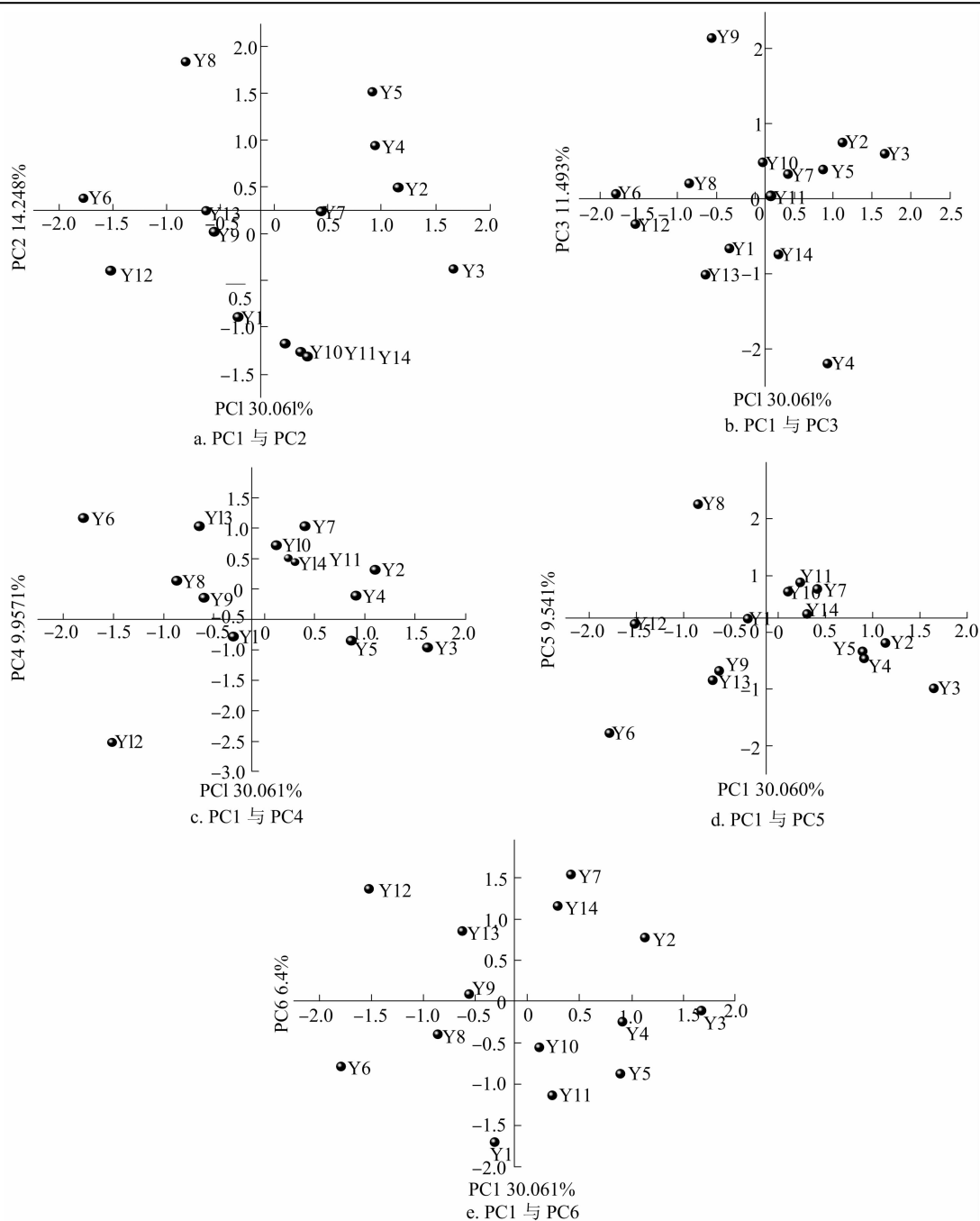


图2 结球甘蓝品种在前 6 个主因子的二维排序

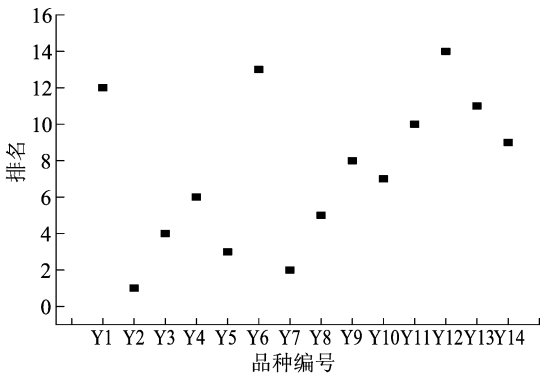


图3 不同结球甘蓝品种模糊综合评价排名散点

进行育种。

本研究中相关性分析结果表明,中肋中部宽度与单球质量呈极显著负相关,原因可能是当中肋中部宽度增加时叶片占位面积增加,叶片着生数量减少,导致单球质量降低;另一个原因可能是中肋中部宽度与叶基部厚度呈显著负相关,即当中肋中部越宽时叶基部厚度越薄,也可导致单球质量降低。中肋拉力与纵切指数呈极显著负相关,纵切指数为纵切层数与中心柱高之比,纵切指数越小其中心柱越高,球叶数随中心柱增高而增加,球叶数又与中肋

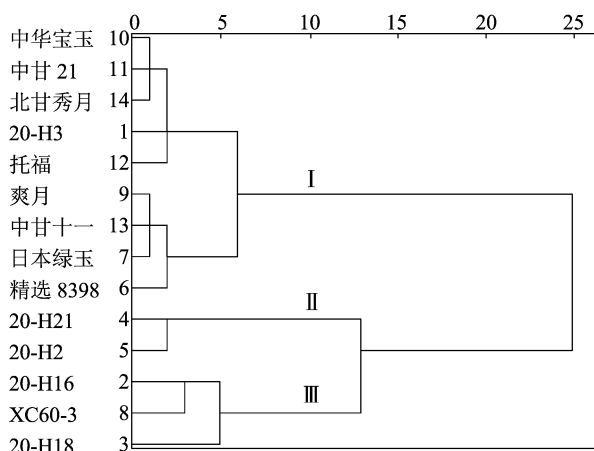


图4 不同结球甘蓝品种聚类结果

拉力呈负相关,故中肋拉力随纵切指数的增加而减小。叶皱缩度与叶球宽呈极显著正相关,叶皱缩度为叶面积与展叶面积之比,叶皱缩度越大其叶面积越大,叶面积与叶球高呈正相关,叶球高随叶球宽增加而增加,所以叶皱缩度随叶球宽的增加而增加。本研究与前人研究结果不一致,原因可能是前人对叶球性状进行系统分析较少。

王英成等通过主成分分析,提取了6个主成分,主成分贡献率依次降低,表明对性状综合表现的影响依次降低^[19]。因此,在实际生产中可选择贡献率较大的因子进行优先改良。影响甘蓝的商品性因子首先是叶片着生因子,其次分别为中心柱因子、叶球因子、叶片厚度因子等。结合相关性分析发现,叶片着生量越大,密度越大以及中肋越宽、越厚表明叶球越紧实;中心柱越宽、中心柱表面积越大,叶片着生数越大,叶球越紧实;叶片越厚,单球质量越大,叶球越紧实。但对结球甘蓝紧实度与各指标之间的关系还有待于进行深入研究。本研究通过绘制前6个主因子的二维PC图,将不同品种按主因子结果进行排列,可有针对性地品种选择。赵乐杰等分别对11份秋甘蓝品种进行主成分分析及综合评价,筛选出5份综合得分较高的品种^[20]。姜凯旋等对10份春甘蓝材料进行主成分分析和聚类分析,基于此筛选出优良亲本^[21]。

本研究基于主成分综合评价及综合隶属函数得分对结球甘蓝品种进行排名,结果20-H16、日本绿玉、20-H22、20-H18、XC60-3 5个品种综合性状表现突出。其综合商品性状优良,口感较好,具有较高的食用价值和市场价值,可作为良种繁育的潜在材料。根据聚类分析发现在遗传距离为10时,可将14个品种分为3类,可根据不同育种需求进行选种。

参考文献:

- [1] 李锡香,方智远. 结球甘蓝种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2007:1-3.
- [2] 张楠. 结球甘蓝在中国的引种与本土化研究(明清至民国)[D]. 南京:南京农业大学,2015:9.
- [3] 倪文海,郁寿根,胡惠根,等. 结球甘蓝栽培技术[J]. 现代农业科技,2012(8):142,146.
- [4] 孙朋朋. 甘蓝主要叶球性状遗传效应与关联分析及QTL定位[D]. 南京:南京农业大学,2014:16-18.
- [5] 崔桂娟,亢灵涛,侯宇豪,等. 基于主成分与聚类分析的辣椒品质综合评价[J]. 食品工业科技,2019,40(14):49-55.
- [6] 黄颖,吴婷,曹伟伟,等. 基于主成分和聚类分析的油菜薹营养与感官品质评价[J]. 食品与发酵工业,2020,46(17):253-258.
- [7] 张鲜艳,崔红利,杜方,等. 秋葵品种的农艺性状综合分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2019,39(4):79-88.
- [8] 伏兵哲,高雪芹,高永发,等. 21个苜蓿品种主要农艺性状关联分析与综合评价[J]. 草业学报,2015,24(11):174-182.
- [9] 王薇薇,吴永成,梅燚,等. 大蒜萌发期耐盐性综合评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(21):143-146.
- [10] 余琳. 叶卷曲基因调控机制的研究[D]. 上海:中国科学院研究生院(上海生命科学研究院),2005:38.
- [11] Hemlata P G. Experimental evaluation of open source data mining tools: r, rapid miner and KNIME[J]. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019, 9(1): 4133-4144.
- [12] Muzamil B S, Singh R D, Kumar P R, et al. Evaluating the performance of supervised classification models: decision tree and Naive Bayes using KNIME[J]. International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7(4/5):248.
- [13] 杨振瑜,王效岳,白如江. 国外主要可视化数据挖掘开源软件的综合分析研究[J]. 图书馆理论与实践,2013(5):89-93.
- [14] 赵东风,郭勤卫,项小敏,等. 利用隶属函数法对观赏辣椒种质资源耐热性的评价[J]. 浙江农业科学,2019,60(1):64-66.
- [15] 吴澎,贾朝爽,范苏仪,等. 樱桃品种果实品质因子主成分分析及模糊综合评价[J]. 农业工程学报,2018,34(17):291-300.
- [16] 孙炜,于瑞宁,张飞,等. 菊花扦插生根能力的量化评价[J]. 园艺学报,2019,46(3):540-548.
- [17] 张秀荣,张保才,刘峥. 越冬甘蓝主要农艺性状的灰色关联度分析及综合评价[J]. 江西农业学报,2019,31(6):26-31.
- [18] 申领艳,栗淑芳,康少辉,等. 冀西北高寒环境下结球甘蓝品种农艺性状综合评价及优异品种筛选[J]. 中国农学通报,2021,37(2):34-42.
- [19] 王英成,芦光新,邓晖,等. 基于主成分分析的青贮玉米品种农艺性状评价及筛选研究[J]. 草地学报,2019,27(6):1725-1732.
- [20] 赵乐杰,王超,姜凯旋,等. 秋甘蓝种质资源农艺性状主成分和聚类分析[J]. 北方园艺,2019(9):7-13.
- [21] 姜凯旋,赵乐杰,李江丽,等. 春甘蓝育种材料主要农艺性状主成分分析与聚类分析[J]. 中国农学通报,2020,36(4):50-55.