

黄振, 慈惠婷, 柳志勇, 等. 基于主成分及聚类分析的药用菊花品种产量与品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 271–280.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050062

HUANG Zhen, CI Huiting, LIU Zhiyong, et al. Comprehensive Evaluation on Yield and Quality of Medicinal *Chrysanthemum morifolium* Varieties Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(5): 271–280. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050062

· 分析检测 ·

基于主成分及聚类分析的药用菊花品种产量与品质综合评价

黄 振^{1,2}, 慈惠婷², 柳志勇², 薛玉前², 任秀霞², 薛璟祺², 张秀新^{2,*}

(1. 枣庄职业学院, 山东枣庄 277800;

2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘 要: 为防止品种混杂, 筛选药用或茶用菊花的专用品种, 以不同产地来源的 8 个药用菊花品种 16 个样品为试材, 采用超高效液相色谱法和比色法测定不同产地药用菊花的品质成分含量; 并基于主成分分析和聚类分析, 对不同产地药用菊花品种产量与品质进行综合评价。结果表明, 不同产地药用菊花品种单株花头数变异系数 (39.03%) 最大, 是构成药用菊花单株花头干重的主要因素 ($r=0.800$), 以枣庄红心菊单株花头数 (496.50) 最多、单株花头干重最高; 绿原酸、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸和总黄酮等药效成分在不同来源的样本中差异显著 ($P<0.05$), 上述三种成分在滁州产滁菊中相对含量较高, 分别为 3.75%、8.07%、16.08%, 这与其品质成分综合评价结果一致, 说明滁州滁菊药效较优。13 个性状指标的主成分分析提取出药效因子、高产因子、总黄酮因子和花径因子 4 个主成分, 其累计贡献率为 84.34%; 综合评价得分排在前三位的依次为枣庄引种的红心菊、早小洋菊、滁菊。结合聚类分析结果, 判定在原产地, 滁州滁菊适于药用; 在枣庄引种地, 红心菊为优选的高产品种, 早小洋菊为综合品质优良的品种。通过建立药用菊花品种产量和品质的综合评价体系, 可为我国药茶两用菊花新品种的引种筛选和药食同源利用提供理论依据。

关键词: 药用菊花, 综合评价, 主成分分析, 聚类分析

中图分类号: R282.71

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)05-0271-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050062

本文网刊:



Comprehensive Evaluation on Yield and Quality of Medicinal *Chrysanthemum morifolium* Varieties Based on Principal Component Analysis and Cluster Analysis

HUANG Zhen^{1,2}, CI Huiting², LIU Zhiyong², XUE Yuqian², REN Xiuxia², XUE Jingqi², ZHANG Xiuxin^{2,*}

(1. Zaozhuang Vocational College, Zaozhuang 277800, China;

2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to prevent the mixing of varieties and screen special medicinal or tea *Chrysanthemum morifolium* varieties, 16 samples of 8 medicinal *C. morifolium* varieties from different producing areas were used in this study. Ultra-high performance liquid chromatography and colorimetry were used to determine the quality components from different producing areas, we also determined their yield and quality based on principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). The results showed that the variation coefficient of the amount of single capitulum per plant was the largest (39.03%) among the yield indexes, which was the main factor that constituted the dry weight of single capitulum per plant

收稿日期: 2023-05-09

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-21); 中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-IVFCAAS); 山东省枣庄市科技发展计划项目 (2018NS09); 枣庄市科学技术普及项目科技创新智库课题研究 (KCZGXM202304-9)。

作者简介: 黄振 (1971-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 药食两用菊花资源评价与综合利用, E-mail: hz010212@163.com。

*** 通信作者:** 张秀新 (1972-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 牡丹芍药药食同源育种与创新利用, E-mail: zhangxiuxin@caas.cn。

($r=0.800$). Furthermore, the 'Hongxin Ju' from Zaozhuang had the highest value in both the amount of single capitulum (496.50) and dry weight of single capitulum per plant. The contents of medical components, including chlorogenic acid, 3,5-O-dicaffeoylquinic acid and total flavonoids showed significant differences ($P<0.05$) among different samples from various areas, and the three compounds in 'Chuju' from Chuzhou had relative higher levels (3.75%, 8.07% and 16.08%, respectively), which was consistent with the comprehensive evaluation results of its quality components, and indicating that 'Chuju' from Chuzhou was suitable for medicinal use. Four principal components were extracted from the PCA of 13 traits indexes, including pharmacodynamic factor, high yield factor, total flavonoid factor and flower diameter factor, and their cumulative contribution rate reached 84.34%. The comprehensive scores of 'Hongxin Ju', 'Zaoxiaoyang Ju' and 'Chuju' after introduced to Zaozhuang ranked the top three among 16 samples of 8 varieties from various areas. Combined with the results of CA, it indicated that in the original area, 'Chuju' from Chuzhou was more suitable for medical use, in the introducing area of Zaozhuang, 'Hongxin Ju' was a high-yielding variety, and 'Zaoxiaoyang Ju' was a variety with good comprehensive quality. In summary, a comprehensive evaluation system for the yield and quality of medicinal *C. morifolium* varieties was established to provide a theoretical basis for the introduction and screening of new varieties of medicinal and tea *C. morifolium* and the homologous utilization of medicine and food in China.

Key words: medicinal *Chrysanthemum morifolium*; comprehensive evaluation; principal component analysis; cluster analysis

药用菊花为菊科植物菊(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)的干燥头状花序, 2020 年版《中国药典》(一部)收载的亳菊、滁菊、贡菊、杭菊、怀菊 5 种药材类型^[1], 具有药茶两用功能。现代药理研究表明, 药用菊花富含绿原酸、木犀草苷和 3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸(3,5-Dicaffeoylquinic acid, 3,5-DCQA) 3 个药效指标成分^[1], 以及木犀草素与芹菜素等黄酮类化合物^[2], 均可作为药用菊花质量评价的主要指标。同时, 这 5 类药效成分具有抗氧化^[3]、抗炎^[4]、抗肿瘤^[5]、抗病毒^[6]、保肝^[7]、降血压^[8]、神经保护^[9]等多种功效。另外, 药用菊花还富含多糖^[10]、氨基酸^[11]、矿物质^[12]等营养功能成分。其中, 多糖兼具抗肿瘤^[13]、抗氧化^[14]及延缓衰老^[15]等生理功能。在实际生产中, 药用菊花因受产地、品种类型、栽培技术、采收期与加工方式等多种因素的影响, 致使其产量与品质成分含量等存在较大差异。通过对不同产地来源的药用菊花品种产量与品质功能成分的测定分析与综合评价, 可为筛选高产、优质的专用药用(茶用)菊花新品种提供参考。

主成分分析(Principal component analysis, PCA)及聚类分析研究, 多用于多指标的品质、产量性状的综合评价。目前, 主成分及聚类分析已广泛应用于苹果^[16]、鲜食葡萄^[17]、冬枣^[18]、樱桃番茄^[19]、大蒜^[20]等果蔬作物以及食用菊农艺与食用品质性状综合评价^[21]、药用菊花多酚物质等活性成分的质量评价^[22]、药用及茶用菊花农艺性状的遗传多样性分析等^[23], 而对不同原产地与引种地药用菊花品种资源的产量与品质指标的主成分分析及其综合评价体系的构建研究, 鲜有报道。

本研究针对我国药用菊花生产中存在的品种混杂、种性退化、规范化种植水平低、重视茶用而忽视药用等不良问题^[24], 通过实地调研取样与引种栽培试验, 结合外观产量性状的指标观测, 运用超高效液相色谱(Ultra-high performance liquid chromatography,

UPLC)法和比色法, 测定与分析不同产地药用菊花中品质成分含量, 继而通过多重比较、相关性分析、主成分分析和聚类分析, 对不同产地药用菊花品种的产量高低与品质优劣进行综合评价。最终筛选出适于山东枣庄地区种植的产量性状突出、品质成分优良的药用或茶用菊花专用品种, 并初步建立了药用菊花品种资源的综合评价体系, 为我国药用菊花的资源评价、新品种选育、规范化引种栽培及其药食同源利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

引种试验圃地设在山东省枣庄市薛城区小吕巷村, 2019 年 4~5 月, 分别从我国 5 大类菊花药材的 7 个产地, 共计引进种植了 8 个主栽品种。同时于原产地和引种地分别对应采收盛花期开放的菊花头状花序鲜样 16 份, 并均于 100~105 °C 蒸青 3 min、50 °C 恒温烘干^[25], 粉碎, 过 80 目筛^[26], 备用。上述不同产地来源的样品, 经中国农业科学院张秀新研究员鉴定为菊科植物菊(*C. morifolium* Ramat.)的干燥头状花序。其样品详细信息见表 1。

绿原酸(纯度≥98%, 批号 9308021-20191108)、木犀草苷(纯度≥98%, 批号 118D021-20210118)、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸(纯度≥98%, 批号 428B021-20210428)、木犀草素(纯度≥98%, 批号 C29N10Q104574)、芹菜素(纯度≥98%, 批号 T04S8F43072)

北京索莱宝科技有限公司; 甲醇、甲酸 色谱纯, 北京汇海科仪科技有限公司; 其他试剂芦丁、苯酚、葡萄糖等 国产分析纯, 上海源叶生物科技有限公司。

ACQUITY 超高效液相色谱仪 Waters 公司; DHG-9070 电热鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司; FW135 型粉碎机 北京市永光明医疗仪器有限公司; AR1140 电子分析天平 Adventurer 公司; KQ-500DB 型数控超声波清洗器 昆山市超声

表 1 不同产地药用菊花品种的取样信息

Table 1 Sampling information of medicinal *C. morifolium* varieties from different areas

样品编号	药材类型	原产地	品种名称	拉丁学名	采样地点	采样日期
S1	杭菊	射阳	红心菊	<i>C. morifolium</i> ‘Hongxin Ju’	江苏射阳洋马菊海生态园	2019-10-28
S2	杭菊	桐乡	早小洋菊	<i>C. morifolium</i> ‘Zaoxiaoyang Ju’	浙江桐乡梧桐钱林村	2019-11-08
S3	杭菊	麻城	大洋菊	<i>C. morifolium</i> ‘Dayang Ju’	湖北中医药大学基地	2019-11-10
S4	贡菊	歙县	黄山贡菊	<i>C. morifolium</i> ‘Huangshan Gongju’	安徽歙县北岸高山槐棠村	2019-11-09
S5	滁菊	滁州	滁菊	<i>C. morifolium</i> ‘Chuju’	安徽滁州城郊滁菊基地	2019-11-06
S6	亳菊	亳州	小亳菊	<i>C. morifolium</i> ‘Xiao Boju’	安徽亳州譙东中药研究所	2019-11-04
S7	怀菊	温县	怀小白菊	<i>C. morifolium</i> ‘Huaixiaobai Ju’	河南温县祥云大尚村	2019-11-02
S8	怀菊	温县	怀小黄菊	<i>C. morifolium</i> ‘Huaixiaohuang Ju’	河南温县祥云大尚村	2019-11-02
Z1	杭菊	射阳	红心菊	<i>C. morifolium</i> ‘Hongxin Ju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-10-20
Z2	杭菊	桐乡	早小洋菊	<i>C. morifolium</i> ‘Zaoxiaoyang Ju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-10-29
Z3	杭菊	麻城	大洋菊	<i>C. morifolium</i> ‘Dayang Ju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-11-05
Z4	贡菊	歙县	黄山贡菊	<i>C. morifolium</i> ‘Huangshan Gongju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-11-12
Z5	滁菊	滁州	滁菊	<i>C. morifolium</i> ‘Chuju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-11-07
Z6	亳菊	亳州	小亳菊	<i>C. morifolium</i> ‘Xiao Boju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-11-05
Z7	怀菊	温县	怀小白菊	<i>C. morifolium</i> ‘Huaixiaobai Ju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-11-07
Z8	怀菊	温县	怀小黄菊	<i>C. morifolium</i> ‘Huaixiaohuang Ju’	山东枣庄薛城小吕巷村	2019-11-07

仪器有限公司; 5427R 离心机 SIGMA 公司; SC-30 数控超级恒温槽 宁波新芝生物科技股份有限公司; UV-1750 紫外-可见分光光度计 岛津(上海)实验器材有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 主要产量指标的测定 2019 年 10~11 月盛花期, 于药用菊花原产地和枣庄引种地随机选取各药用菊花品种 10 株(重复 3 次), 舌状花开放 70%~80% 时采收头状花序, 用游标卡尺测量花序直径(mm)、计数单株花头数(个); 用电子天平测定单花鲜重(g)、单花干重(g)、单株花头鲜重(g)、单株花头干重(g)。

1.2.2 主要药效成分的测定 参考 2020 年版《中国药典》(一部)菊花项下药效指标成分的测定方法^[1]与刘汉珍等^[27]、江珊珊等^[28]的实验方法, 稍加改进, 采用 UPLC 法同时测定不同产地药用菊花中绿原酸、木犀草苷、3,5-DCQA、木犀草素、芹菜素的含量。

1.2.2.1 供试品溶液的制备 取菊花样品粉末(过 80 目筛)约 0.25 g, 精密称定, 置 100 mL 具塞锥形瓶中, 精密加入 70% 甲醇 25.0 mL, 密塞, 称定质量, 超声处理(功率 300 W, 频率 45 kHz)40 min, 温度为 20 ℃, 放冷, 再称定质量, 用 70% 甲醇补足减失的质量, 摇匀(溶液离心 10 min, 13000 r/min), 0.45 μm 微孔滤膜滤过, 取续滤液作为供试品溶液。

1.2.2.2 对照品溶液的制备 根据前人报道^[27-28], 分别精密称取绿原酸 1.17 mg、木犀草苷 2.52 mg、3,5-O-二咖啡酰基奎宁酸 2.32 mg、木犀草素 1.16 mg、芹菜素 1.16 mg, 置于 10 mL 棕色量瓶中, 用 70% 甲醇溶解后定容, 摇匀, 得各对照品储备液。精密移取上述各对照品储备液 1 mL, 加 70% 甲醇稀释定容成 10 mL(可用 0.45 μm 微孔滤膜过滤), 即得每 1 mL 含绿原酸 11.7 μg, 木犀草苷 25.2 μg, 3,5-O-二

咖啡酰基奎宁酸 23.2 μg, 木犀草素 11.6 μg, 芹菜素 11.6 μg 的混合对照品溶液(10 ℃ 以下保存)。

1.2.2.3 色谱条件 色谱柱: Waters ACQUITY UPLC HSS T3 (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm)柱; 流动相: 甲醇(A)-0.1% 甲酸(B), 流动相 A 体积比例为 55%, 流动相 B 体积比例为 45%, 等度洗脱 12 min; 检测波长: 320 nm; 流速: 0.2 mL/min; 柱温: 30 ℃; 进样量: 1 μL。各样品平行测定 3 次, 取平均值。

1.2.2.4 样品含量的测定 按上述色谱条件, 分别精密吸取供试品溶液各 1 μL, 依次注入液相色谱仪, 测定上述 5 个药效成分的峰面积。分别以上述各对照品的质量浓度为横坐标(x), 以峰面积值为纵坐标(y), 得出各标准曲线:

$y_{\text{绿原酸}}=43.546x+2.339, R^2=0.99993$, 线性范围 18.9~2485.6 μg/mL;

$y_{\text{木犀草苷}}=23.769x+29.533, R^2=0.99993$, 线性范围 5.3~1489.8 μg/mL;

$y_{3,5\text{-DCQA}}=53.942x+177.814, R^2=0.99979$, 线性范围 18.4~2456.5 μg/mL;

$y_{\text{木犀草素}}=41.027x+0.107, R^2=0.99996$, 线性范围 2.4~628.7 μg/mL;

$y_{\text{芹菜素}}=140.165x+2.099, R^2=0.99956$, 线性范围 0.1~25.2 μg/mL。

1.2.3 总黄酮含量的测定 参考朱琳等^[29]的方法, 稍加改进, 采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法测定。分别精密称定样品粉末(过 80 目筛)约 1.0 g, 置 100 mL 具塞锥形瓶中, 精密加入 70% 乙醇 30 mL, 密塞, 称定质量, 静置 30 min, 室温超声处理 20 min(功率 200 W, 频率 45 kHz), 放冷, 称定重量, 用 70% 乙醇补足减失质量, 摇匀, 溶液离心 10 min(13000 r/min), 滤过, 取续滤液 10 mL 于 100 mL 容量瓶中, 用 70% 乙醇溶液定容至刻度, 摇匀, 即得供试品溶液。

精密吸取供试品溶液 2 mL 置于 10 mL 试管中,加 5% 亚硝酸钠溶液 1 mL,混匀,放置 6 min,加 10% 硝酸铝溶液 1 mL,振荡摇匀,放置 6 min,再加 4% 氢氧化钠试液 5 mL,振荡摇匀后用 30% 乙醇定容至刻度,放置 15 min,在 510 nm 处测定吸光度。以芦丁为标准品,得标准曲线方程为 $A=2.31C-0.0172$ ($R^2=0.9927$),式中 A:吸光度,C:芦丁质量浓度。

1.2.4 可溶性糖含量的测定 参考杨毕超等^[30]的方法,稍加改进,采用苯酚-硫酸法进行测定。供试品溶液的制备与上述总黄酮供试品溶液的制备方法相同^[30]。吸取 0.5 mL 样液,放入 10 mL 试管中,加浓硫酸 5.0 mL、5% 苯酚 1.0 mL,40 ℃ 水浴中保温 30 min,在 490 nm 测定吸光度。以葡萄糖为标准品,得标准曲线方程为 $A=199.08C-1.080$ ($R^2=0.9965$),式中 A:吸光度,C:葡萄糖质量浓度。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据平均值、标准差及变异系数分析;利用 SAS 9.2 软件进行单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 法检验($\alpha=0.05$)均值差异显著性,并进行相关性分析(Pearson 法)以及主成分与聚类分析。依据方差累计贡献率 $\geq 85\%$ 的标准提取主成分,以各主成分对应的方差贡献率作为权重,由主成分得分和对应权重相乘求和构建综合评价函数^[31]。主成分聚类分析采用类平均系统聚类法。

2 结果与分析

2.1 不同产地药用菊花品种产量指标的统计分析

综合分析盛花期(舌状花开 70%~80%)的植株产量性状指标,是筛选高产品种的基础。由表 2 知,

不同产地药用菊花品种的产量性状变异系数不同。其中单株花头数变异系数最大,为 39.03%,其次为单株花头干重、单株花头鲜重,变异系数分别为 34.04%、28.89%,变异丰富,具有选择潜力,可作为高产品种的选育目标。但不同产地品种间的主要产量性状差异显著($P<0.05$)。如表 2 所示,枣庄引种红心菊(Z1)后的单株花头数、单株花头鲜重和单株花头干重都最高,且显著高于不同产地的其他品种($P<0.05$),分别为 496.50 个、472.18 g 和 104.27 g,其次是射阳产地红心菊(S1)分别为 468.50 个、413.55 g、67.93 g,表明不同产地的红心菊比较高产;单株花头数是决定药用菊花单株花头干重的主要因素($r=0.800$),这与盛蒂等^[32]前人研究结果一致;而枣庄引种的黄山贡菊(Z4)则显著低于上述样本($P<0.05$),分别为 159.38 个、182.44 g、35.22 g,表现低产。另外,枣庄引种怀小黄菊(Z8)后的花序直径、单花鲜重和单花干重较高,且显著高于其他品种($P<0.05$),分别为 47.66 mm、1.68 g 和 0.29 g,其次是枣庄引种大洋菊(Z3)后的花序直径、滁菊(Z5)的单花鲜重与单花干重,分别为 46.54 mm、1.62 g、0.29 g;而枣庄引种黄山贡菊(Z4)后的花序直径、射阳产红心菊(S1)的单花鲜重、亳州产小毫菊(S6)的单花干重相对较低,分别为 24.64 mm、0.89 g、0.14 g。

2.2 不同产地药用菊花品种品质指标的统计分析

由表 3 知,不同产地药用菊花品种的药效指标成分绿原酸、3,5-DCQA、木犀草苷均已达到 2020 年版《中国药典》规定的标准含量^[1]。但其功能成分含量变异系数不同。其中,木犀草苷变异系数最大,

表 2 不同产地药用菊花品种的产量指标分析结果

Table 2 Analysis of yield index of medicinal *C. morifolium* varieties from different areas

样品编号	花序直径(mm)	单株花头数(个)	单花鲜重(g)	单花干重(g)	单株花头鲜重(g)	单株花头干重(g)
S1	41.92±2.63 ^{ef}	468.50±81.68 ^a	0.89±0.04 ⁱ	0.15±0.006 ^k	413.55±66.82 ^{ab}	67.93±11.84 ^{bc}
S2	43.32±2.63 ^{de}	234.38±87.73 ^{bcde}	1.06±0.02 ^s	0.16±0.003 ^j	246.97±89.68 ^{gh}	36.80±13.77 ^{fg}
S3	44.19±3.12 ^{cd}	308.38±81.78 ^b	1.26±0.06 ^e	0.21±0.009 ^s	389.10±110.21 ^{abc}	65.29±17.32 ^{bcd}
S4	33.64±2.26 ^j	230.63±65.33 ^{cde}	0.91±0.03 ⁱ	0.19±0.007 ⁱ	208.69±58.00 ^{gh}	42.79±12.12 ^{efg}
S5	37.52±2.24 ^b	172.00±11.22 ^{de}	1.13±0.03 ^f	0.26±0.007 ^{bc}	194.69±15.65 ^h	44.18±2.88 ^{efg}
S6	35.15±1.99 ^j	243.63±57.37 ^{bcd}	0.90±0.04 ⁱ	0.14±0.006 ^j	217.57±49.89 ^{gh}	33.04±7.78 ^g
S7	45.46±3.33 ^{bc}	167.13±39.45 ^{de}	1.58±0.07 ^b	0.25±0.010 ^d	264.19±62.58 ^{efgh}	40.92±9.66 ^{efg}
S8	44.45±2.44 ^{cd}	197.38±30.35 ^{de}	1.47±0.04 ^d	0.23±0.007 ^e	290.44±43.50 ^{defg}	46.19±7.10 ^{efg}
Z1	39.29±3.10 ^s	496.50±57.38 ^a	0.95±0.04 ^b	0.21±0.009 ^s	472.18±46.06 ^a	104.27±12.05 ^a
Z2	44.21±2.35 ^{cd}	295.50±127.63 ^{bc}	1.23±0.02 ^e	0.22±0.004 ^f	362.61±159.96 ^{bcd}	65.01±28.08 ^{bcd}
Z3	46.54±2.68 ^{ab}	236.00±52.41 ^{bcde}	1.46±0.05 ^d	0.26±0.010 ^b	344.66±80.47 ^{bcd}	61.36±13.63 ^{bcd}
Z4	24.64±1.95 ^k	159.38±73.57 ^e	1.15±0.03 ^f	0.22±0.007 ^f	182.44±82.04 ^h	35.22±16.26 ^g
Z5	43.80±3.54 ^d	243.88±52.01 ^{bcd}	1.62±0.04 ^b	0.29±0.008 ^a	392.93±75.95 ^{abc}	70.72±15.08 ^b
Z6	40.76±2.34 ^f	201.63±51.69 ^{de}	1.14±0.04 ^f	0.20±0.006 ^h	231.36±63.66 ^{gh}	40.39±10.35 ^{efg}
Z7	45.53±2.96 ^{bc}	219.88±56.94 ^{de}	1.53±0.05 ^c	0.25±0.008 ^{cd}	335.51±86.37 ^{bcd}	54.97±14.23 ^{cde}
Z8	47.66±3.40 ^a	180.13±48.19 ^{de}	1.68±0.07 ^a	0.29±0.013 ^a	304.76±88.17 ^{cdef}	52.24±13.97 ^{def}
最大值	47.66	496.50	1.68	0.29	472.18	104.27
最小值	24.64	159.38	0.89	0.14	182.44	33.04
平均值	41.13	253.43	1.25	0.22	303.23	53.83
标准差	5.96	98.91	0.28	0.05	87.59	18.32
CV(%)	14.49	39.03	22.12	21.35	28.89	34.04

注: 同列数值后不同小写字母表示差异达到显著水平($P<0.05$); CV表示变异系数(Coefficient of variation); 表3同。

为 63.08%; 其次是木犀草素、芹菜素的变异系数, 均在 53% 以上。且不同产地药用菊花品种间的药效指标成分含量差异显著($P<0.05$)。其中, 滁州产滁菊(S5)的绿原酸、3,5-DCQA 含量最高(分别为 3.75%、8.07%), 显著高于其他品种($P<0.05$); 其次是枣庄引种的怀小白菊(Z7)含量较高(分别为 3.74%、6.45%); 而歙县产黄山贡菊(S4)的含量最低(分别为 1.09%、1.71%)。枣庄引种早小洋菊(Z2)后的木犀草苷、芹菜素和枣庄引种红心菊(Z1)后的木犀草素含量最高(分别为 3.49%、0.015%、0.49%); 而亳州产小毫菊(S6)的木犀草苷、歙县产黄山贡菊(S4)的木犀草素、芹菜素含量最低(分别为 0.19%、0.02%、0.001%)。

总黄酮和可溶性糖也是反映药用菊花药茶两用功能的主要成分, 且原产地与引种地药用菊花品种间存在显著差异($P<0.05$)。其中, 桐乡产早小洋菊(S2)、滁州产滁菊(S5)的总黄酮和可溶性糖含量较高(分别为 16.54%、25.10%; 16.08%、23.18%); 而枣庄引种后的小毫菊(Z6)的总黄酮、黄山贡菊(Z4)的可溶性糖含量最低(分别为 6.81%、12.63%), 约低出 2 倍。综上表明, 滁州产滁菊、枣庄引种的怀小白菊药效功能较佳, 适于药用; 桐乡原产地与枣庄引种地的早小洋菊为适于药茶两用的杭菊类型; 而原产地与引种地的小毫菊、黄山贡菊的药茶两用功能总体表现较差。这与杨朝帆等^[33]的研究结果基本一致, 而与陈

表 3 不同产地药用菊花品种功能成分含量的分析结果(%)

Table 3 Analysis on functional components of medicinal *C. morifolium* varieties from different areas (%)

样品编号	绿原酸	3,5-DCQA	木犀草苷	木犀草素	芹菜素	总黄酮	可溶性糖
S1	1.18±0.49 ^f	2.36±1.09 ^{ef}	0.77±0.33 ^{de}	0.13±0.06 ^{ghij}	0.003±0.002 ^{ef}	9.73±2.63 ^{bc}	18.58±3.02 ^{cd}
S2	1.87±0.87 ^{cdef}	3.15±1.54 ^{cdef}	2.09±0.97 ^{bc}	0.26±0.10 ^{cdefg}	0.010±0.005 ^{bcd}	16.54±6.14 ^a	25.10±4.59 ^a
S3	1.43±0.62 ^{ef}	2.73±1.20 ^{def}	1.09±0.48 ^{cde}	0.05±0.02 ^j	0.004±0.001 ^{ef}	15.91±1.23 ^a	21.44±0.53 ^{abc}
S4	1.09±0.23 ^f	1.71±0.37 ^f	1.07±0.22 ^{cde}	0.02±0.01 ^j	0.001±0.001 ^f	13.39±0.79 ^{ab}	23.05±0.87 ^{ab}
S5	3.75±1.79 ^a	8.07±3.83 ^a	1.01±0.55 ^{cde}	0.21±0.11 ^{defgh}	0.008±0.005 ^{cde}	16.08±0.44 ^a	23.18±1.70 ^{ab}
S6	1.62±0.96 ^{def}	3.24±2.09 ^{cdef}	0.19±0.13 ^e	0.14±0.09 ^{ghij}	0.004±0.004 ^{ef}	10.32±0.42 ^{bc}	23.35±1.80 ^{ab}
S7	2.05±0.28 ^{bcd}	4.46±0.75 ^{bcd}	1.07±0.17 ^{cde}	0.35±0.06 ^{abcd}	0.006±0.001 ^{de}	10.78±1.11 ^{bc}	21.53±1.03 ^{abc}
S8	2.16±1.16 ^{bcd}	4.44±2.85 ^{bcd}	0.81±0.49 ^{de}	0.34±0.20 ^{bcd}	0.007±0.005 ^{cde}	10.25±0.99 ^{bc}	19.04±2.03 ^{bcd}
Z1	3.10±0.07 ^{abc}	5.78±0.39 ^{abcd}	1.73±0.08 ^{bcd}	0.49±0.04 ^a	0.008±0.001 ^{cde}	9.99±2.24 ^{bc}	16.58±2.16 ^{de}
Z2	3.47±0.18 ^{ab}	5.15±0.54 ^{abcde}	3.49±0.43 ^a	0.34±0.03 ^{bcd}	0.015±0.003 ^a	14.22±3.47 ^{ab}	16.35±2.91 ^{de}
Z3	3.37±0.25 ^{ab}	6.11±0.48 ^{abc}	1.97±0.24 ^{bcd}	0.11±0.01 ^{hij}	0.009±0.001 ^{bcd}	13.96±2.60 ^{ab}	18.63±2.13 ^{cd}
Z4	2.80±0.77 ^{abcde}	4.19±1.22 ^{bcd}	1.97±0.59 ^{bcd}	0.06±0.02 ^{ij}	0.004±0.001 ^{ef}	8.66±1.92 ^c	12.63±0.24 ^e
Z5	3.26±0.77 ^{abc}	5.94±1.52 ^{abc}	2.92±2.05 ^{ab}	0.28±0.06 ^{cdef}	0.007±0.001 ^{cde}	8.56±1.67 ^c	13.54±2.18 ^e
Z6	1.95±0.55 ^{cdef}	4.07±1.21 ^{bcd}	0.26±0.08 ^e	0.20±0.06 ^{efghi}	0.005±0.002 ^{def}	6.81±1.86 ^c	16.87±0.97 ^{de}
Z7	3.74±0.05 ^a	6.45±0.07 ^{ab}	1.24±0.01 ^{cde}	0.45±0.01 ^{ab}	0.013±0.001 ^{ab}	7.25±0.51 ^c	12.85±4.65 ^e
Z8	2.92±0.50 ^{abcd}	5.70±1.11 ^{abcd}	1.04±0.20 ^{cde}	0.36±0.07 ^{abc}	0.012±0.004 ^{abc}	13.89±0.60 ^{ab}	13.58±0.60 ^e
最大值	3.75	8.07	3.49	0.49	0.015	16.54	25.10
最小值	1.09	1.71	0.19	0.02	0.001	6.81	12.63
平均值	2.49	4.60	1.42	0.24	0.007	11.65	18.52
标准差	0.92	1.71	0.90	0.14	0.004	3.20	4.11
CV(%)	36.98	37.15	63.08	61.02	53.18	27.50	22.22

表 4 不同产地药用菊花品种产量与品质指标间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between yield and quality indexes of medicinal *C. morifolium* varieties from different areas

指标	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃
X ₁	1.000												
X ₂	0.087	1.000											
X ₃	0.607*	-0.490	1.000										
X ₄	0.376	-0.412	0.854**	1.000									
X ₅	0.528*	0.780**	0.141	0.140	1.000								
X ₆	0.307	0.800**	-0.000	0.189	0.924**	1.000							
X ₇	0.178	-0.177	0.481	0.711**	0.166	0.290	1.000						
X ₈	0.255	-0.215	0.506*	0.746**	0.115	0.248	0.939**	1.000					
X ₉	0.109	0.096	0.230	0.329	0.348	0.375	0.522*	0.283	1.000				
X ₁₀	0.502*	0.135	0.418	0.375	0.397	0.400	0.530*	0.549*	0.205	1.000			
X ₁₁	0.557*	-0.096	0.491	0.460	0.261	0.214	0.739**	0.635**	0.521*	0.698**	1.000		
X ₁₂	0.190	-0.062	-0.083	-0.004	-0.081	-0.059	-0.036	-0.016	0.205	-0.234	0.191	1.000	
X ₁₃	-0.046	-0.016	-0.475	-0.538*	-0.341	-0.343	-0.540*	-0.396	-0.332	-0.363	-0.362	0.587*	1.000

注: *表示显著相关($P<0.05$); **表示极显著相关($P<0.01$)。X₁~X₁₃分别代表花序直径、单株花头数、单花鲜重、单花干重、单株花头鲜重、单株花头干重、绿原酸、3,5-DCQA、木犀草苷、木犀草素、芹菜素、总黄酮、可溶性糖13个指标。

韵姿等^[34]的研究结果(亳州亳菊药效较优)不尽相同。这种不同产地药用菊花品种品质指标间的差异,可能与品种特性、产地环境、栽培技术和加工方法等综合因素的影响有关^[33,35]。

2.3 不同产地药用菊花品种产量与品质指标间的相关性分析

由表 4 可知,盛花期不同产地药用菊花品种的 13 个产量与品质指标性状,存在显著或极显著相关性。其中,花序直径与单花鲜重、单株花头鲜重、木犀草素、芹菜素呈显著正相关($P<0.05$);单株花头数与单株花头鲜重、单株花头干重,单花鲜重与单花干重,单株花头鲜重与单株花头干重,均呈极显著正相关($P<0.01$);单花干重与绿原酸、3,5-DCQA,绿原酸与 3,5-DCQA 均呈极显著正相关($P<0.01$);而单花鲜重与 3,5-DCQA 则呈显著正相关($P<0.05$);芹菜素与绿原酸、3,5-DCQA、木犀草素均呈极显著正相关($P<0.01$);木犀草苷与绿原酸、芹菜素,木犀草素与绿原酸、3,5-DCQA 均呈显著正相关($P<0.05$);可溶性糖与总黄酮呈显著正相关($P<0.05$),而与单花干重、绿原酸呈显著负相关($P<0.05$)。可见,不同产地药用菊花品种产量性状和品质指标间密切相关,综合评价不同产地药用菊花品种的产量高低与品质优劣,应进行主成分降维分析。

2.4 不同产地药用菊花品种产量与品质指标的主成分分析及综合评价

主成分分析是通过降维分析,用少量综合评价指标来代替原来多个指标的大部分重要信息,实现数据的简化^[36]。而主成分载荷矩阵可以反映不同品种产量与品质性状指标对此主成分负荷的相对大小和作用方向,即该指标对主成分影响的程度,一般以 0.5 原则为判断依据^[37]。因此,对原产地与引种地各 8 个药用菊花品种的 13 个产量与品质的性状指标进行主成分分析表明(表 5),前 4 个主成分的特征值均大于 1,累计贡献率达到 84.34%,基本解释了药用菊花品种产量和品质性状指标的绝大部分信息,为此提取前 4 个主成分。其中,第 1 主成分的特征根为 5.236,方差贡献率为 40.27%,决定第 1 主成分的主要是绿原酸、3,5-DCQA 和芹菜素,为衡量药用菊花品种的主要药效成分,可称为药效因子。第 2 主成分的特征根为 2.846,方差贡献率为 21.89%,决定第 2 主成分的主要是单株花头数、单株花头鲜重、单株花头干重,单株花头数的特征向量值最大,可称为高产因子。第 3 主成分的特征根为 1.637,方差贡献率为 12.59%,决定第 3 主成分的主要是总黄酮和可溶性糖,且总黄酮特征向量值较大,主要影响品种的药效或茶用功能,可称为总黄酮因子。第 4 主成分的特征根为 1.245,方差贡献率为 9.58%,决定第 4 主成分的主要是花序直径和木犀草苷,花序直径的特征向量负值较大,主要影响品种的鲜重和药效功能,可称为花径因子。

表 5 4 个主成分的特征向量、特征根和累计方差贡献率
Table 5 Characteristic vector, characteristic root and cumulative variance contribution rate of four principal components

指标	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4
花序直径	0.247	0.092	0.369	-0.556
单株花头数	-0.009	0.584	-0.012	0.062
单花鲜重	0.315	-0.249	0.010	-0.376
单花干重	0.348	-0.231	-0.040	-0.054
单株花头鲜重	0.217	0.489	0.029	-0.137
单株花头干重	0.217	0.482	-0.027	0.083
绿原酸	0.373	-0.130	-0.052	0.353
3,5-DCQA	0.352	-0.162	-0.018	0.193
木犀草苷	0.236	0.085	0.149	0.507
木犀草素	0.319	0.087	-0.026	-0.205
芹菜素	0.353	-0.053	0.245	0.082
总黄酮	-0.036	-0.044	0.716	0.219
可溶性糖	-0.279	-0.019	0.512	-0.045
特征根	5.236	2.846	1.637	1.245
方差贡献率(%)	40.27	21.89	12.59	9.58
累计贡献率(%)	40.27	62.17	74.76	84.34

比较不同产地药用菊花品种的多性状指标,需对其原始数据进行标准化处理,以消除不同单位和数据量纲的影响^[38]。根据主成分的特征向量(表 5)和标准化后的数据,计算药用菊花品种产量与品质性状的主成分得分,以各主成分对应的方差贡献率为权重,对主成分得分和相应的权重进行线性加权,构建主成分综合评价模型^[31]: $F=0.4027F_1+0.2189F_2+0.1259F_3+0.0958F_4$,由综合评价模型计算出不同产地药用菊花品种的产量与品质的综合得分,并依据综合得分进行不同产地药用菊花品种排序(表 6)。综合得分越高,表明该产地药用菊花品种产量与品质的综合评价越好。由表 6 可知,原产地与引种地的各

表 6 不同产地药用菊花产量与品质指标的主成分得分、品种综合得分及优良度排序

Table 6 Main component score, variety comprehensive score and fine degree ranking of yield and quality indexes of medicinal *C. morifolium* from different areas

样品代号	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	综合得分	排序
S1	-0.997	1.966	-0.464	-0.594	-0.086	10
S2	-0.654	-0.117	1.905	0.351	-0.016	9
S3	-0.623	0.790	1.069	-0.616	-0.003	8
S4	-0.722	-0.148	0.147	0.419	-0.667	15
S5	0.168	-1.264	0.920	1.326	0.034	7
S6	-1.531	-0.197	-0.260	-0.084	-0.701	16
S7	0.067	-0.773	0.253	-1.434	-0.248	12
S8	0.107	-0.439	-0.116	-1.274	-0.190	11
Z1	0.812	2.371	-0.602	0.734	0.840	1
Z2	1.093	0.516	0.977	1.390	0.809	2
Z3	0.710	-0.197	0.784	0.280	0.368	4
Z4	-0.599	-1.088	-1.971	1.921	-0.543	13
Z5	1.274	0.145	-0.796	0.149	0.459	3
Z6	-0.598	-0.459	-1.240	-0.903	-0.584	14
Z7	1.357	-0.332	-0.948	-0.653	0.292	5
Z8	1.138	-0.775	0.341	-1.011	0.235	6

8 个药用菊花品种产量与品质的综合得分及其优良度排序结果显示: 枣庄引种的红心菊(Z1)、早小洋菊(Z2)、滁菊(Z5)综合得分较高, 依次为 0.840、0.809、0.459。而原产地与引种地的小毫菊与黄山贡菊的综合得分偏低。这种差异可能与品种遗传特性、产地环境和栽培技术等因素有关^[33,35]。

2.5 不同产地药用菊花品种品质指标的主成分分析及综合评价

为考察不同产地药用菊花品种品质指标的优劣, 参照上述主成分分析与综合评价的原理与方法, 构建主成分综合评价的数学模型: $F=0.5193F_1+0.2187F_2+0.1218F_3$, 计算品种品质的综合得分, 并对其进行优良度排序。结果(表 7、表 8)表明, 不同产地药用菊花品种品质的综合得分排在前 3 位的依次为: 枣庄早小洋菊(Z2)、滁州产滁菊(S5)、枣庄怀小白菊(Z7)。由表 7 可知, 3 个主成分中反映菊花药茶两用功能的绿原酸、木犀草苷、总黄酮和可溶性糖的特征向量绝对值较大, 该 PCA 结果与其前述功能成分含量差异显著性分析结果(表 3)一致。因此, 滁州产滁菊(S5)、枣庄怀小白菊(Z7)因药效指标成分(绿原酸、3,5-DCQA)含量较高, 应开发入药; 枣庄早小洋菊(Z2)为品质指标综合评价优良的杭菊类型, 一般以茶饮为主、兼作药用^[34]。

表 7 3 个主成分的特征向量、特征根和累计方差贡献率

Table 7 Characteristic vector, characteristic root and cumulative variance contribution rate of three principal components

指标	主成分1	主成分2	主成分3
绿原酸	0.492	0.066	-0.005
3,5-DCQA	0.447	0.058	0.284
木犀草苷	0.302	0.289	-0.727
木犀草素	0.386	-0.116	0.464
芹菜素	0.449	0.243	0.116
总黄酮	-0.062	0.777	0.034
可溶性糖	-0.335	0.482	0.401
特征根	3.635	1.531	0.853
方差贡献率(%)	51.93	21.87	12.18
累计贡献率(%)	51.93	73.80	85.98

表 8 不同产地药用菊花品质指标的主成分得分、品种综合得分及优良度排序

Table 8 Main component score, variety comprehensive score and fine degree ranking of quality indexes of medicinal *C. morifolium* from different areas

样品代号	F ₁	F ₂	F ₃	综合得分	排序
S1	-1.181	-0.823	-0.349	-0.836	15
S2	-0.383	1.807	0.074	0.205	7
S3	-1.240	0.870	-0.438	-0.507	12
S4	-1.747	0.343	-0.663	-0.913	16
S5	0.524	1.428	1.452	0.761	2
S6	-1.174	-0.313	0.894	-0.569	14
S7	-0.240	-0.142	0.946	-0.041	9
S8	-0.099	-0.486	0.899	-0.048	10
Z1	0.890	-0.486	0.618	0.431	5
Z2	1.403	1.239	-1.315	0.839	1
Z3	0.454	0.872	-0.562	0.358	6
Z4	-0.035	-1.044	-1.935	-0.482	11
Z5	0.956	-0.645	-1.500	0.173	8
Z6	-0.497	-1.543	0.497	-0.535	13
Z7	1.512	-1.168	0.764	0.623	3
Z8	0.857	0.091	0.618	0.540	4

2.6 不同产地药用菊花品种产量与品质的 Q 型和 R 型聚类分析

以 13 个产量与品质性状指标为依据, 对 16 个不同产地药用菊花样品在欧氏距离上进行类平均距离法聚类分析。其中, 基于不同品种样品的 Q 型聚类结果(图 1)表明, 在欧氏平方距离为 0.9 时, 可将不同产地药用菊花品种分为 5 大类: 第 I 类为枣庄红心菊(Z1), 属射阳杭白菊类型, 其综合评价得分最高, 为优良的高产品种。第 II 类是综合评价较好的枣庄引种地品种类型, 包括早小洋菊(Z2)、滁菊(Z5)、大洋菊(Z3)、怀小白菊(Z7)、怀小黄菊(Z8)。第 III 类是滁州滁菊(S5), 药效指标成分、总黄酮和可溶性糖含量较高, 应以药用为主, 兼顾茶用。第 IV 类为枣庄引种地的黄山贡菊(Z4), 表现低产, 综合评价得分偏低, 以茶饮为主。第 V 类是综合评价得分较低的类型, 包括原产地的湖北大洋菊(S3)、桐乡早小洋菊(S2)、射阳红心菊(S1)、温县怀小白菊(S8)与怀小白菊(S7)、枣庄引种地的小毫菊(Z6)、歙县黄山贡菊(S4)、亳州小毫菊(S6)。可见 Q 型聚类结果与其 PCA 综合评价排序结果(表 6)一致, 这也反映了我国

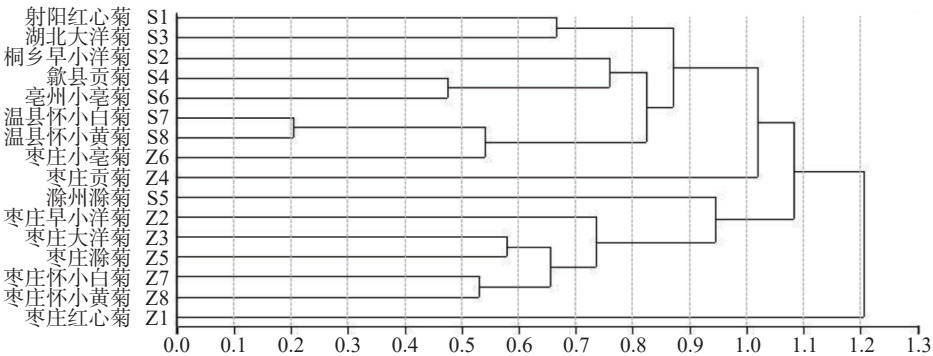


图 1 不同产地药用菊花品种样品的 Q 型聚类

Fig.1 Q-type cluster analysis of samples of medicinal *C. morifolium* varieties from different areas

五大药用菊花的产地起源、亲缘关系及其药茶用途等状况。

基于不同指标的 R 型聚类结果(图 2)表明,在欧氏平方距离为 0.8 时,可将不同产地药用菊花的 13 个产量与品质指标分为 4 类:第 I 类是花序直径,主要与药用菊花的外观品质和鲜重等有关;第 II 类是单株花头数与单株花头鲜重、单株花头干重,三者具

有极显著相关性,聚为一类,是高产指标;第 III 类包括单花鲜重、单花干重、木犀草素、绿原酸、3,5-DCQA、芹菜素和木犀草苷 7 种指标,这些指标间具有显著或极显著相关性,主要反映菊花品种的药效功能;第 IV 类是总黄酮和可溶性糖,二者具有显著相关性,反映菊花品种的药茶两用功能。可见 R 型聚类结果与 PCA 提取的 4 个主成分(表 5)结果相吻合。

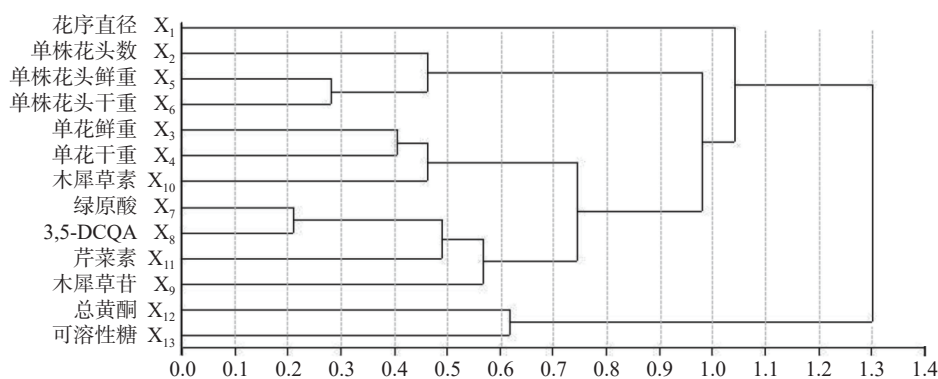


图 2 不同产地药用菊花品种指标的 R 型聚类

Fig.2 R-type cluster analysis of indexes of medicinal *C. morifolium* varieties from different areas

3 结论

不同产地或同一引种地不同药用菊花品种的单株花头数、单株花头鲜重与单株花头干重等外观性状间存在显著差异,为筛选药用菊花高产品种提供了基础。研究表明,单株花头数变异系数最大,且与单株花头干重呈极显著正相关($r=0.800$),是构成药用菊花产量的主要因素;其中,以枣庄红心菊单株干产量最高。因此,在药用菊花规范化种植中,可施以摘心技术,来增加花头数而提高产量。同时,不同产地或同一引种地不同药用菊花品种的功能成分含量也不同,且存在显著差异。其中,木犀草苷和木犀草素变异系数较大。滁州产滁菊的绿原酸、3,5-DCQA 的含量显著高于其他产地的药用菊花品种,总黄酮含量较高;其次是枣庄引种地早小洋菊的木犀草苷、芹菜素和枣庄引种地怀小白菊的绿原酸含量也均显著高于其他品种。这与品质成分的主成分分析结果一致:滁州产滁菊和枣庄怀小白菊的药效较优,适于药用;枣庄早小洋菊的品质功能成分综合评价优良,应以茶饮为主、兼作药用。而原产地与引种地的黄山贡菊和小毫菊则表现低产、质差。因此,药用菊花产地与其品种产量和品质有关。这种不同产地药用菊花品种产量与品质成分含量的差异,可能与不同产地药用菊花的栽培类型、生态特性、栽培技术、采收期和加工方法等因素有关,还有待进一步研究。而且,本实验应用 UPLC 法同时测定药用菊花样品中绿原酸、木犀草苷、3,5-DCQA 等 5 种药效成分含量的结果可行。但综合评价药用菊花的品质优劣,还应测定与分析药用菊花中芹菜苷、槲皮素、金合欢素、氨基酸、可溶性蛋白、微量元素等指标成分,以便精准评价药用菊花的药茶两用功能。

本研究所作的相关性分析、主成分分析和聚类分析结果表明,16 个不同产地来源的药用菊花品种样品的产量与品质性状间存在显著或极显著相关性,由于相关性的信息重叠性,需要对主成分进行降维分析、综合评价。因此,从 13 个性状指标中提取了前 4 个主成分,累计方差贡献率达到 84.34%,可分别归纳为药效因子、高产因子、总黄酮因子和花径因子;综合评价得分排在前 3 位的依次为枣庄引种的红心菊、早小洋菊、滁菊。结合不同产地药用菊花品种产量和品质的聚类分析结果,判定在原产地,滁州滁菊适于药用;在枣庄引种地,红心菊为优选的高产品种,早小洋菊为品质综合评价优良的品种。因此,基于主成分及聚类分析,初步构建了药用菊花品种产量和品质的综合评价体系,这对我国药用菊花品种资源评价、引种筛选与综合利用等具有实践指导意义。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 323-324. [National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China, Volume 1[S]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020: 323-324.]
- [2] YUAN J, HUANG J, WU G, et al. Multiple responses optimization of ultrasonic-assisted extraction by response surface methodology (RSM) for rapid analysis of bioactive compounds in the flower head of *Chrysanthemum morifolium* Ramat[J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 74: 192-199.
- [3] PENG A, LIN L Z, ZHAO M, et al. Classification of edible chrysanthemums based on phenolic profiles and mechanisms underlying the protective effects of characteristic phenolics on oxidatively damaged erythrocyte[J]. *Food Research International*, 2019, 123: 64-74.
- [4] LI Y F, HAO Y M, GAO B Y, et al. Chemical profile and in

- vitro* gut microbiota modulatory, anti-inflammatory and free radical scavenging properties of *Chrysanthemum morifolium* cv. Fubaiju [J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 58: 114–122.
- [5] FENG R T, LU Y, BOWMAN L L, et al. Inhibition of activator protein-1, NF-kappa B. and MAPKs and induction of phase 2 detoxifying enzyme activity by chlorogenic acid[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2005, 280(30): 27888–27895.
- [6] WANG T, ZHU Z B, MAO P F, et al. Variation in major flavonoids glycosides and caffeoylquinic acids during florescence of three *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. 'Hangju' genotypes[J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2013, 47(6): 74–79.
- [7] TSAI P J, CHANG M L, HSIN C M, et al. Antilipototoxicity activity of osmanthus fragrans and *Chrysanthemum morifolium* flower extracts in hepatocytes and renal glomerular mesangial cells[J]. *Mediators of Inflammation*, 2017, 2017(6): 856095.
- [8] GAO T, ZHU Z Y, ZHOU X, et al. *Chrysanthemum morifolium* extract improves hypertension-induced cardiac hypertrophy in rats by reduction of blood pressure and inhibition of myocardial hypoxia inducible factor-1alpha expression[J]. *Pharmaceutical Biology*, 2016, 54(12): 2895–2900.
- [9] YANG P F, YANG Y N, FENG Z M, et al. Six new compounds from the flowers of *Chrysanthemum morifolium* and their biological activities[J]. *Bioorganic Chemistry*, 2019, 82: 139–144.
- [10] TAO J H, DUAN J A, ZHANG W, et al. Polysaccharides from *Chrysanthemum morifolium* Ramat. ameliorate colitis rats via regulation of the metabolic profiling and NF- κ B/TLR4 and IL-6/JAK2/STAT3 signaling pathways[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2018, 9: 746.
- [11] 詹歌, 孙梦媛, 李军, 等. 不同产地 5 种菊花氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(6): 908–914.
- [ZHAN G, SUN M Y, LI J, et al. Analysis of amino acid composition and nutritive value of five cultivars of *Chrysanthemum morifolium* from different producing areas[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2019, 46(6): 908–914.]
- [12] 颜鸿远, 刘引, 徐扬, 等. 药用和茶用菊花种质资源的矿物质元素分析评价[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(2): 272–280. [YAN H Y, LIU Y, XU Y, et al. Analysis and evaluation of mineral elements of *Chrysanthemum morifolium* for medicinal and tea use of different germplasm resources[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46(2): 272–280.]
- [13] CHENG L Z, CHEN L, YANG Q Q, et al. Antitumor activity of Se-containing tea polysaccharides against sarcoma 180 and comparison with regular tea polysaccharides and Se-yeast[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 12(120): 853–858.
- [14] 李曦, 郭灵安, 雷欣宇, 等. 金丝皇菊的营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2019, 35(11): 237–241, 260. [LI X, GUO L A, LEI X Y, et al. Nutritional analysis and evaluation of *Chrysanthemum* [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(11): 237–241, 260.]
- [15] CHENG J, ZHOU Z W, SHENG H P, et al. An evidence-based update on the pharmacological activities and possible molecular targets of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. *Drug Design, Development and Therapy*, 2014, 17(9): 33–78.
- [16] COSTA F, CAPPELLIN L, LONGHI S, et al. Assessment of apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2011, 61(1): 21–28.
- [17] 林蝉蝉, 何舟阳, 单文龙, 等. 基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质[J]. 果树学报, 2020, 37(4): 520–532. [LIN C C, HE Z Y, SHAN W L, et al. Comprehensive evaluation of fruit quality of 12 red table grape cultivars cultivated in Yangling area based on principal component and cluster analyses [J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(4): 520–532.]
- [18] 武林霞, 李玲, 张国光, 等. 基于主成分及聚类分析的不同产地冬枣品质特性分析[J]. 食品科学, 2022, 43(8): 334–338. [WU L X, LI L, ZHANG G G, et al. Analysis on quality characteristics of winter jujube from different regions based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Food Science*, 2022, 43(8): 334–338.]
- [19] 周艳超, 薛坤, 葛海燕, 等. 基于主成分与聚类分析的樱桃番茄品质综合评价[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(12): 2320–2329. [ZHOU Y C, XUE K, GE H Y, et al. Comprehensive evaluation of cherry tomato quality based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2021, 33(12): 2320–2329.]
- [20] 胡小霞, 邓丽娟, 刘睿婷, 等. 基于主成分分析的大蒜药用质量评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(12): 293–299. [HU X X, DENG L J, LIU R T, et al. Evaluation of medicinal quality of garlic based on principal component analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(12): 293–299.]
- [21] 王红宝, 丁丁, 郑伶俐, 等. 滨海地区 12 个食用菊品种(系)农艺及品质性状综合评价[J/OL]. 分子植物育种 1–23 [2023-02-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220613.0815.002.html>. [WANG H B, DING D, ZHENG L J, et al. Comprehensive evaluation of the agronomic and quality characteristics of 12 edible chrysanthemum varieties (lines) in coastal areas [J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 1–23 [2023-02-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220613.0815.002.html>.]
- [22] GONG J Y, CHU B Q, GONG L X, et al. Comparison of phenolic compounds and the antioxidant activities of fifteen *Chrysanthemum morifolium* Ramat cv. 'Hangbaiju' in China [J]. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 2019, 8(8): 325.
- [23] 陈乐, 刘引, 陈昌婕, 等. 药用及茶用菊花种质资源农艺性状的遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(15): 5172–5188. [CHEN Y, LIU Y, CHEN C J, et al. Analysis on genetic diversity of agronomic traits in *Chrysanthemum* germplasm for medicinal and tea use [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(15): 5172–5188.]
- [24] 黄振, 柳志勇, 王顺利, 等. 我国药用菊花品种资源调查与产业现状分析[J]. 中药材, 2020, 43(6): 1325–1329. [HUANG Z, LIU Z Y, WANG S L, et al. Resources investigation of Chinese medicinal *Chrysanthemum morifolium* varieties and its industry status analysis [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2020, 43(6): 1325–1329.]
- [25] 张红瑞, 周艳, 黄勇, 等. 采收时间对 6 个栽培类型药菊产量品质的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(7): 82–85. [ZHANG H R, ZHOU Y, HUANG Y, et al. Influences of different picking times on yield and quality of six cultivars of medicinal *Chrysanthemum morifolium* [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2016, 48(7): 82–85.]
- [26] 王霏, 李卫文, 廖华俊, 等. 毫菊的加工方法研究[J]. 安徽农业大学学报, 2014, 41(5): 882–885. [WANG F, LI W W, LIAO H J, et al. Comparison of processing methods of *Chrysanthemum morifolium* Bozhou [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2014, 41(5): 882–885.]
- [27] 刘汉珍, 史亚东, 俞浩, 等. 不同品种菊花中 4 种黄酮类化合物的含量测定比较研究[J]. 中药材, 2016, 39(9): 2046–2048. [LIU H Z, SHI Y D, YU H, et al. Comparative study on the four kinds of flavonoids from four different varieties of *Dendranthema*

- morifolium*[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2016, 39(9): 2046–2048.]
- [28] 江珊珊, 傅志红, 唐密机, 等. HPLC-DAD 法同时测定杭白菊不同部位七种活性成分的含量[J]. 中国药师, 2015, 18(10): 1724–1728. [JIANG S S, FU Z H, TANG M J, et al. Simultaneous determination of seven active constituents in different parts of *Dendranthera Morifolium* (Ramat.) Tzvel. by HPLC-DAD[J]. China Pharmacist, 2015, 18(10): 1724–1728.]
- [29] 朱琳, 郭建明, 杨念云, 等. 菊非药用部位化学成分的分布及其动态积累研究[J]. 中草药, 2014, 45(3): 425–431. [ZHU L, GUO J M, YANG N Y, et al. Distribution and dynamic changes of chemical constituents from non-medical parts of *Chrysanthemum morifolium*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2014, 45(3): 425–431.]
- [30] 杨毕超, 时维静, 章庆华, 等. 安徽省药用菊花多类成分含量比较[J]. 安徽科技学院学报, 2013, 27(5): 50–54. [YANG B C, SHI W J, ZHANG Q H, et al. Comparison of multi-component of *Chrysanthemum* in Anhui[J]. Journal of Anhui Science and Technology University, 2013, 27(5): 50–54.]
- [31] 张梦, 张遥遥, 胡悦, 等. 基于主成分分析和聚类分析的百合花瓣品质综合分析与评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 232–238, 245. [ZHANG M, ZHANG Y Y, HU Y, et al. Comprehensive evaluation of lily petal quality based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 232–238, 245.]
- [32] 盛蒂, 郭亚勤, 王旭东, 等. 七种栽培类型菊花的植物学特征、产量及有效成分比较研究[J]. 中草药, 2006, 37(6): 914–917. [SHENG D, GUO Y Q, WANG X D, et al. Comparative study on botanical characters, yield, and active components in flowers of seven cultivars from *Chrysanthemum morifolium*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2006, 37(6): 914–917.]
- [33] 杨朝帆, 董诚明, 邢冰, 等. 不同产地菊花质量研究[J]. 中国现代中药, 2018, 20(6): 716–720. [YANG C F, DONG C M, XING B, et al. Study on quality of *Chrysanthemum morifolium* from different habitats[J]. Modern Chinese Medicine, 2018, 20(6): 716–720.]
- [34] 陈韵姿, 李子鸿, 李怀国, 等. 四大品种菊花中不同成分含量比较. [J]. 广州中医药大学学报, 2016, 33(6): 871–874. [CHEN Y Z, LI Z H, LI H G, et al. Comparison of component contents in four kinds of Flos Chrysanthemi[J]. Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, 2016, 33(6): 871–874.]
- [35] 叶梦倩, 邓静, 彭杰, 等. 菊花本草考证[J]. 中成药, 2022, 44(6): 1912–1917. [YE M Q, DENG J, PENG J, et al. Herbal textual research of *Chrysanthemum morifolium*[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2022, 44(6): 1912–1917.]
- [36] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同产地红心猕猴桃品质的主成分及聚类分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 222–228. [LI Y H, RAN M Q, XU M H, et al. Principal component and cluster analysis of quality of red-centred kiwifruit from different habitats [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 222–228.]
- [37] GIRSCHIK L, JONES J E, KERSLAKE F L, et al. Apple variety and maturity profiling of base ciders using UV spectroscopy [J]. [Food Chemistry](#), 2017, 228: 323–329.
- [38] 王建芳, 高山, 牟德华. 基于主成分分析和聚类分析的不同品种燕麦品质评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 85–91. [WANG J F, GAO S, MOU D H. Quality evaluation of different varieties of oat based on principal components analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(13): 85–91.]