

王巧妹, 王继武, 管志勇, 等. 茶用菊七月白×苏菊 7 号 F_1 代群体与产量相关性状的变异分析及高产植株筛选[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(2): 512-520.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.02.027

茶用菊七月白×苏菊 7 号 F_1 代群体与产量相关性状的变异分析及高产植株筛选

王巧妹¹, 王继武², 管志勇¹, 房伟民¹, 陈发棣¹, 张 飞¹

(1. 南京农业大学园艺学院/作物遗传与种质创新国家重点实验室/国家林业和草原局华东地区花卉生物学重点实验室, 江苏南京 210095; 2. 滁州市应用技术学校, 安徽 全椒 239500)

摘要: 以茶用菊七月白×苏菊 7 号 F_1 代分离群体为材料, 调查 16 个与产量相关的性状(初花期、盛花期、单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量、花径、舌状花长、舌状花宽、舌状花数、管状花数、株高、冠幅、分枝数、叶长、叶宽)的遗传变异情况, 通过相关性分析和通径分析研究茶用菊产量的影响因素及其关系, 利用主成分分析和隶属函数方法在杂交 F_1 代群体中筛选高产杂交植株, 以期茶用菊高产育种提供依据和重要的育种中间材料。变异分析结果表明, 七月白×苏菊 7 号 F_1 代群体中各性状表现出不同程度的变异, 变异系数为 7.82%~96.80%, 其中单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量等 4 个产量性状的变异系数为 35.99%~40.18%。16 个性状的广义遗传力均较高(>60.00%); 除花径、舌状花长、舌状花宽、分枝数、叶宽外, 其余 11 个性状的中亲优势均达极显著水平, 中亲优势率为-54.42%~42.45%; 单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量的中亲优势率为 18.44%~42.45%, 超高亲率为 46.51%~68.60%, 为选择茶用菊高产株系奠定了基础。相关性分析结果表明, 单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量 4 个产量性状与绝大多数形态性状(除冠幅)存在显著或极显著的相关性, 除了与管状花数、分枝数呈负相关外, 与其他性状均表现出正相关。通径分析结果表明, 单花鲜质量、株高对产量具有正向直接作用(直接通径系数分别为 0.77、0.22), 且单花鲜质量、株高通过彼此对茶用菊产量具有正向间接作用; 株高的决策系数(0.17)高于单花鲜质量的决策系数(-0.02), 表明株高是影响茶用菊产量的重要指标。通过主成分分析结合隶属函数分析, 在杂交 F_1 代群体中共筛选出 10 个高产杂交植株, 为今后茶用菊高产育种提供了重要的中间材料。综上, 本研究初步明确了与茶用菊产量相关的性状及其遗传特点, 相关研究结果有助于提高茶用菊高产育种的效率。

关键词: 茶用菊; 杂交育种; 产量; 遗传变异; 通径分析; 综合评价

中图分类号: S571.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)02-0512-09

Genetic variation of yield-related traits and screening of high-yield hybrid plants in tea chrysanthemum Qiyuebai× Suju 7 F_1 segregating progeny

WANG Qiao-mei¹, WANG Ji-wu², GUAN Zhi-yong¹, FANG Wei-min¹, CHEN Fa-di¹, ZHANG Fei¹

(1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Genetics & Germplasm Enhancement/Key Laboratory of Biology of Ornamental Plants in East China, National Forestry and Grassland Administration, Nanjing 210095, China; 2. Chuzhou Application Technical School, Quanjiao 239500, China)

收稿日期: 2022-02-14

基金项目: 江苏现代农业(花卉)产业技术体系建设项目[JATS(2021)454、JATS(2021)021]; 江苏省农业科技创新与推广专项(2021-SJ-011)

作者简介: 王巧妹(1996-), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, 研究方向为花卉种质资源与遗传育种。(E-mail) 1427142729@qq.com

通讯作者: 张 飞, (E-mail) zhangfei@njau.edu.cn

Abstract: In this study, genetic variation of the 16 yield-related traits was investigated in tea chrysanthemum Qiyuebai × Suju 7 F_1 segregating population, correlation

and path analyses were performed to determine the influencing factors of yield and their relationship, and principal component analysis and membership function method were used to screen hybrid plants with higher yield, so as to provide valuable basis and intermediate materials for tea chrysanthemum breeding. Genetic variation analysis demonstrated that phenotypic variation of the investigated traits ranged in 7.82%–96.80%, and the variation coefficients of fresh and dry weight of single flower and 100-flower were 35.99%–40.18%. The relative high broad-sense heritabilities larger than 60.00% were calculated for the investigated traits, and all traits except flower diameter, length and width of ray floret, branch number and leaf width had significant midparent heterosis, with the ratio of heterosis in a range of –54.42%–42.45%. The mid-parent heterosis of fresh and dry weight of single flower and 100-flower ranged from 18.44% to 42.45%, and the over-high parent heterosis rate was 46.51%–68.60%, which laid the foundation for selecting high-yield lines. Correlation analysis revealed that the yield traits, fresh and dry weight of single flower and 100-flower showed significant or extremely significant correlations with other morphological traits except plant crown width, and the interrelationships were positive except for tubular floret number and branch number. Path analysis revealed that the single flower fresh weight and plant height had positive direct effects on yield with direct path coefficients of 0.77 and 0.22, and the two traits had positive indirect effects on yield through each other. The decision coefficient of plant height (0.17) was higher than that of single flower fresh weight (–0.02), thus plant height should be the major decision index affecting tea chrysanthemum yield. By the combined methods of principal component and membership function analyses, ten hybrid plants with higher yield were screened out as candidate intermediate materials for breeding high-yield cultivars. In conclusion, this study preliminarily clarifies the traits related to the yield of tea chrysanthemum and genetic characteristics, and the results will allow plant breeders to more efficiently increase tea chrysanthemum yield in future breeding programs.

Key words: tea chrysanthemum; cross breeding; yield; genetic variation; path analysis; comprehensive evaluation

茶用菊具有清热祛火、散风解热和平肝明目等多重功效,人们种植和饮用茶用菊的历史悠久。近年来,随着人们生活水平的提高和菊花文化的普及,具独特口感和较高保健价值的茶用菊的市场需求量逐年扩大。然而,目前中国茶用菊品种单一,难以满足市场对品种多元化、个性化的需求,且目前的品种在产量、品质、抗性等方面常存在不足,制约着茶用菊产业的健康发展^[1]。因此,高产、优质、抗逆茶用菊新品种的选育是茶用菊产业提质增效的重要途径。近年来,关于观赏菊种质资源鉴定和新品种选育的研究已有许多报道^[2-4],但是茶用菊育种的研究才刚起步,相关研究主要集中在茶用菊农艺性状与功能成分评价^[5-7]、抗性鉴定^[8-10]及部分新品种(系)选育^[1, 11-12]等方面。

产量是作物重要的育种目标性状。现有研究结果表明,作物产量通常受到多个性状共同影响,通径分析可以明确各构成因素对产量的直接、间接作用,从而指导作物高产育种和栽培实践^[13-16]。目前已有许多关于产量构成因素及其遗传机制的研究,主要集中在玉米^[14]、小麦^[16]、高粱^[17]、油菜^[18]、大豆^[19]、花生^[13, 20]等主要粮食和经济作物上。栾新生等^[21]通过比较定植期、摘心方案对5个茶用菊品种(品系)产

量的影响,筛选出高产对应的定植期和摘心方案;李嘉伟等^[22]比较了40个茶用菊品系的产量性状,筛选出了高产及适应性强的品系。然而,目前鲜见关于茶用菊产量构成因素及其遗传机制的研究。

本研究以茶用菊七月白×苏菊7号F₁代群体为材料,通过对F₁代群体初花期、盛花期、单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量、花径、舌状花长、舌状花宽、舌状花数、管状花数、株高、冠幅、分枝数、叶长和叶宽共16个与产量相关的性状进行遗传分析和通径分析,解析茶用菊与产量相关的性状遗传变异情况,明确茶用菊产量构成因素及各性状对产量的贡献率和直接作用,并筛选高产优良株系,以期茶用菊高产育种提供依据和育种中间材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为茶用菊品种七月白、苏菊7号及其84个F₁代植株,以扦插方式保存于南京农业大学菊花种质资源保存中心。

1.2 田间性状的调查

在2019年、2020年秋季,参照Li等^[23-24]的方

法调查茶用菊亲本、杂交 F_1 代群体与产量相关的性状,包括初花期[从定植到 50% 植株初花所用的时间(d)]、盛花期[从定植到 50% 植株盛花所用的时间(d)]、单花鲜质量(g)、单花干质量(g)、百花鲜质量(g)、百花干质量(g)、花径(mm)、舌状花长(mm)、舌状花宽(mm)、舌状花数(朵)、管状花数(朵)、株高(cm)、冠幅(cm)、分枝数、叶长(mm)和叶宽(mm)等 16 个性状,每个株系重复 3 次,取均值。

1.3 数据统计与分析

用 Excel 2010 对数据进行统计整理,用 SPSS 21.0 进行描述性统计分析、样本均值的 t 检验、相关性分析、通径分析和主成分分析。

1.3.1 杂种优势及遗传力 杂种优势以中亲优势(H_m)、中亲优势率(RH_m)表示^[25],其中中亲优势为 F_1 代群体各表型性状的均值(F_m)与中亲值(MPV)之差,中亲优势率为中亲优势(H_m)与中亲值的比值,用公式表示为: $H_m = F_m - MPV$; $RH_m = [(F_m - MPV)/MPV] \times 100\%$ 。

参照 Su 等^[26]的方法,计算各性状的变异系数(CV)、广义遗传力(h_b^2)等遗传参数。

1.3.2 相关性和通径分析 由于相关性分析只能简单证明各性状指标间的相关关系,无法表征其直接或间接重要性,因此需要在相关性分析的基础上进一步利用通径分析来明确各性状对产量的直接作用。本研究以初花期(X_1)、盛花期(X_2)、单花鲜质量(X_3)、单花干质量(X_4)、花径(X_5)、舌状花长(X_6)、舌状花宽(X_7)、舌状花数(X_8)、管状花数(X_9)、株高(X_{10})、冠幅(X_{11})、分枝数(X_{12})、叶长(X_{13})、叶宽(X_{14})为自变量(由于百花干质量由百花鲜质量直接烘干得到,二者相关性较强,参考已有研究结果,不再将百花鲜质量作为自变量进行通径分析),以百花干质量为因变量(Y),对 Y 进行正态性检验,随后进行逐步回归分析,获得线性回归方程。

根据逐步回归分析得到的直接通径系数和线性回归方程计算得出各自变量对茶用菊产量(因变量)的间接通径系数(n)、决策系数 $[R^2(i)]$,相关计算公式为:

$$n = r_{ij} \times P_{jy}$$

$$R^2(i) = 2P_i r_{iy} - P_i^2$$

式中, r_{ij} 为 X_i 与 X_j 的相关系数; P_{jy} 为 X_j 的直接通径系数; P_i 为自变量的直接通径系数; r_{iy} 为自变

量与 Y 的相关系数。

1.3.3 主成分分析 参照孙炜等^[27]的方法,用 SPSS 21.0 对 16 个与产量相关的性状进行主成分分析,将各指标原始测量值进行标准化后,根据特征值和贡献率确定主成分数量,计算主成分内各指标特征向量(Y_i)及第 m 个主成分的综合指标(CI_m),相关计算公式为:

$$Y_i = a/\sqrt{\lambda}$$

式中, a 为载荷向量; λ 为特征值。

$$\text{各因素得分}(F) = \sum X \times Y$$

式中, X 为标准化后的测量值; Y 为特征向量。

$$CI_m = F_m/\sqrt{\lambda}$$

1.3.4 产量性状的综合评价 参照孙炜等^[27]的方法,计算每个主成分的隶属函数值(U_m),计算公式:

$$U_m = (CI_m - CI_{\min}) / (CI_{\max} - CI_{\min})$$

式中, CI_{\max} 为第 m 个主成分综合指标的最大值; CI_{\min} 为第 m 个主成分综合指标的最小值。

各主成分权重(W) = 贡献率/累积贡献率。根据各主成分的隶属函数值及权重,计算各株系产量性状综合得分(D 值),计算公式: $D = \sum(U \cdot W)$ 。

2 结果与分析

2.1 性状变异分析

茶用菊七月白、苏菊 7 号及其杂交 F_1 代部分植株的花序、叶片形态特征如图 1 所示,可以看出,杂交 F_1 代的花序与叶片形态等方面的变异较大。由表 1 可以看出,各形态性状的变异系数为 7.82%~96.80%,分离较广泛,其中管状花数的变异系数最大(96.80%),单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量、舌状花数的变异程度适中(变异系数为 35.99%~40.18%),初花期、盛花期的变异系数较小(<10.00%);16 个与产量相关的性状偏度、峰度均较小,表现出连续性较好的正态或近似正态分布趋势。

2.2 遗传力及杂种优势

表 2、表 3 分别是茶用菊 F_1 代群体与产量相关的性状及其遗传力和杂种优势。由表 3 可以看出,除花径、舌状花长、舌状花宽、分枝数、叶宽外,其余 11 个性状的中亲优势均达极显著水平,中亲优势率的绝对值为 8.74%~54.42%。舌状花长、管状花数的中亲优势为负值,表明这 2 个性状存在显性遗传

效应,且在 F₁ 代表现为负向遗传效应。七月白×苏菊 7 号 F₁ 代各性状均明显高于或低于双亲值的株系,其中冠幅的超高亲率最大(73.26%);初花期、盛花期的低低亲率极高,分别为 89.53%、91.86%,表明 F₁ 代的花期晚于亲本;单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量的中亲优势率为 18.44%~42.45%,超高亲率为 46.51%~68.60%,为选择高产

株系奠定了基础。除花径、舌状花宽、管状花数外,其余性状的 F₁ 代均值均高于高值亲本,表明花径、舌状花宽、管状花数在 F₁ 代趋向于变小,其他 13 个性状整体表现为趋向于变大。另外,16 个性状的广义遗传力均较高(>60.00%),初花期、盛花期、百花鲜质量和百花干质量的广义遗传力达 100%,表明这 4 个性状主要由遗传因素决定。

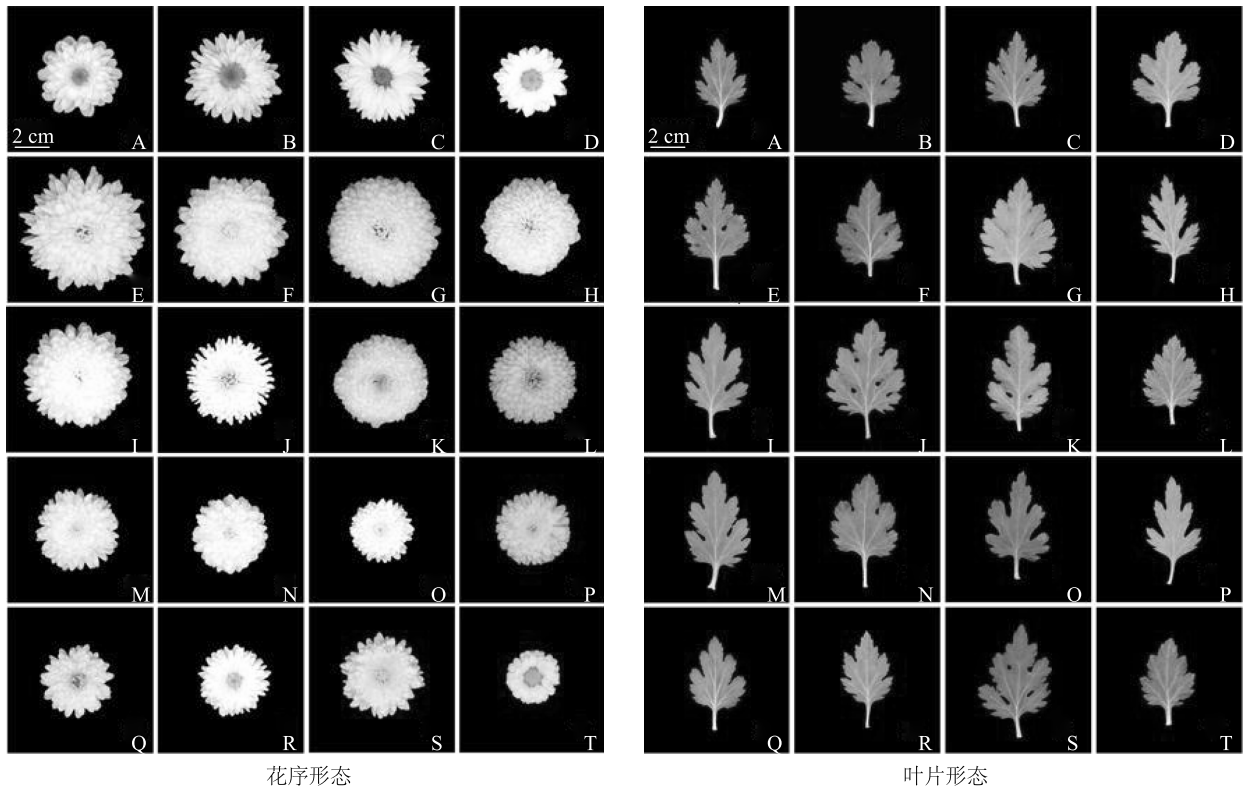


图 1 茶用菊七月白(A)×苏菊 7 号(B)及其部分杂交 F₁ 代(C~T)的花序、叶片形态
Fig.1 Floral and leaf morphology of tea chrysanthemum Qiyuebai (A), Suju 7(B) and their F₁ hybrids (C-T)

表 1 茶用菊七月白×苏菊 7 号 F₁ 代与产量相关性状的表现

Table 1 Performance of yield-related traits in tea chrysanthemum Qiyuebai×Suju 7 F₁ segregating population

性状	初花期 (d)	盛花期 (d)	单花 鲜质量 (g)	单花 干质量 (g)	百花 鲜质量 (g)	百花 干质量 (g)	花径 (mm)	舌状 花长 (mm)	舌状 花宽 (mm)	舌状 花数 (朵)	管状 花数 (朵)	株高 (cm)	冠幅 (cm)	分枝数 (个)	叶长 (mm)	叶宽 (mm)
最大值	160.00	169.00	4.44	0.74	407.62	58.86	61.88	31.39	14.85	329.17	269.83	74.67	67.00	11.92	73.47	45.06
最小值	96.00	105.00	0.56	0.09	65.11	8.93	31.27	12.08	3.14	40.92	1.00	19.50	19.00	3.50	38.74	21.70
极差	64.00	64.00	3.88	0.65	342.51	49.93	30.61	19.31	11.71	288.25	268.83	55.17	48.00	8.42	34.73	23.36
平均值	143.14	148.98	1.84	0.27	179.21	25.08	47.42	21.29	6.70	186.64	73.12	41.64	38.98	5.97	55.67	32.97
标准差	12.82	11.65	0.72	0.11	72.01	9.03	6.77	3.36	1.45	71.45	70.79	11.55	7.99	1.54	6.93	5.03

初花期的变异系数、偏度、峰度分别为 8.95%、-0.50、1.12,盛花期的变异系数、偏度、峰度分别为 7.82%、-0.42、1.26,单花鲜质量的变异系数、偏度、峰度分别为 39.16%、0.13、1.35,单花干质量的变异系数、偏度、峰度分别为 39.84%、0.41、0.80,百花鲜质量的变异系数、偏度、峰度分别为 40.18%、1.06、1.22,百花干质量的变异系数、偏度、峰度分别为 35.99%、0.82、1.20,花径的变异系数、偏度、峰度分别为 14.28%、-0.22、-0.31,舌状花长的变异系数、偏度、峰度分别为 15.79%、0.11、0.32,舌状花宽的变异系数、偏度、峰度分别为 21.56%、1.08、3.08,舌状花数的变异系数、偏度、峰度分别为 38.28%、-0.03、-0.74,管状花数的变异系数、偏度、峰度分别为 96.80%、1.12、0.38,株高的变异系数、偏度、峰度分别为 27.74%、0.58、-0.13,冠幅的变异系数、偏度、峰度分别为 20.51%、0.66、1.41,分枝数的变异系数、偏度、峰度分别为 25.82%、1.23、2.04,叶长的变异系数、偏度、峰度分别为 12.44%、0.06、0.11,叶宽的变异系数、偏度、峰度分别为 15.27%、0.12、-0.33。

表 2 茶用菊七月白和苏菊 7 号亲本与产量相关的性状

Table 2 Yield-related traits of tea chrysanthemum Qiyuebai and Suju 7

类别	初花期 (d)	盛花期 (d)	单花 鲜质量 (g)	单花 干质量 (g)	百花 鲜质量 (g)	百花 干质量 (g)	花径 (mm)	舌状 花长 (mm)	舌状 花宽 (mm)	舌状 花数 (朵)	管状 花数 (朵)	株高 (cm)	冠幅 (cm)	分枝数 (个)	叶长 (mm)	叶宽 (mm)
七月白	131.00	138.00	1.42	0.21	175.27	21.29	42.98	18.27	6.92	159.17	187.67	32.75	33.08	5.50	53.99	32.39
苏菊 7 号	127.00	136.00	1.16	0.19	112.78	21.06	49.70	24.56	6.33	149.67	133.17	36.84	32.75	5.83	48.15	32.72
中亲值	129.00	137.00	1.29	0.20	144.03	21.18	46.34	21.41	6.63	154.42	160.42	34.79	32.92	5.67	51.07	32.56

表 3 茶用菊 F_1 代群体与产量相关性状的遗传力和杂种优势表现Table 3 Heritability and heterosis of yield-related traits in tea chrysanthemum F_1 segregating population

性状	中亲优势	中亲优势率 (%)	广义遗传力 (%)	超高亲株数 (株)	低低亲株数 (株)	超高亲率 (%)	低低亲率 (%)
初花期	14.14 **	10.96	100.00	6	77	6.98	89.53
盛花期	11.98 **	8.74	100.00	5	79	5.81	91.86
单花鲜质量	0.55 **	42.45	79.94	59	13	68.60	15.12
单花干质量	0.07 **	36.13	84.62	54	19	62.79	22.09
百花鲜质量	35.19 **	24.43	100.00	40	13	46.51	15.12
百花干质量	3.91 **	18.44	100.00	50	34	58.14	39.53
花径	1.08	2.33	90.84	32	18	37.21	20.93
舌状花长	-0.12	-0.58	90.47	53	27	61.63	31.40
舌状花宽	0.07	1.09	64.76	8	66	9.30	76.74
舌状花数	32.22 **	20.87	62.54	12	16	13.95	18.60
管状花数	-87.30 **	-54.42	92.05	31	30	36.05	34.88
株高	6.85 **	19.68	95.50	51	19	59.30	22.09
冠幅	6.06 **	18.42	87.96	63	20	73.26	23.26
分枝数	0.30	5.37	87.73	39	41	45.35	47.67
叶长	4.60 **	9.01	83.68	51	10	59.30	11.63
叶宽	0.41	1.27	77.49	45	37	52.33	43.02

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著。各性状的中亲优势显著性检验基于 F_1 代性状值与中亲值 (MPV) 比较的结果 (单样本均值 t 检验)。

2.3 相关性分析

由表 4 可以看出,在 120 对相关性状中,有 63 对性状之间呈极显著相关 ($P < 0.01$),17 对性状之间呈显著相关 ($P < 0.05$)。初花期、盛花期、单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量 6 个性状两两之间呈显著或极显著正相关,其中初花期与盛花期、单花鲜质量与单花干质量、百花鲜质量与百花干质量间的相关系数较大,分别为 0.99、0.95、0.92;舌状花长与单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量、花径呈极显著正相关;舌状花宽、舌状花数均与单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量、花径呈极显著正相关;管状花数与单花鲜质量、舌状花数呈极显著负相关;株高与初花期、盛花期、单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、

百花干质量、花径、舌状花长呈极显著正相关;冠幅与初花期、盛花期、株高呈极显著正相关;分枝数与百花干质量、花径、舌状花长、舌状花宽呈极显著负相关,与冠幅呈极显著正相关;叶长与叶宽呈极显著正相关,二者均与初花期、盛花期、单花干质量、百花干质量、株高、冠幅呈显著或极显著正相关。

2.4 通径分析

以初花期 (X_1)、盛花期 (X_2)、单花鲜质量 (X_3)、单花干质量 (X_4)、花径 (X_5)、舌状花长 (X_6)、舌状花宽 (X_7)、舌状花数 (X_8)、管状花数 (X_9)、株高 (X_{10})、冠幅 (X_{11})、分枝数 (X_{12})、叶长 (X_{13})、叶宽 (X_{14}) 为自变量,以百花干质量为因变量 (Y),通过逐步回归获得如下线性回归方程: $Y = 0.31 + 9.67X_3 + 0.17X_{10}$,进而计算出决策系数、通径系数。

表 4 茶用菊七月白×苏菊 7 号 F₁代群体产量相关性状的 Pearson 相关性
Table 4 Pearson correlation of yield-related traits in tea chrysanthemum Qiyuebai× Suju 7 F₁ segregating population

性状	初花期	盛花期	单花 鲜质量	单花 干质量	百花 鲜质量	百花 干质量	花径	舌状 花长	舌状 花宽	舌状 花数	管状 花数	株高	冠幅	分枝数	叶长
盛花期	0.99 **														
单花鲜质量	0.32 **	0.35 **													
单花干质量	0.36 **	0.39 **	0.95 **												
百花鲜质量	0.24 *	0.27 *	0.89 **	0.83 **											
百花干质量	0.26 *	0.30 **	0.85 **	0.84 **	0.92 **										
花径	0.23 *	0.25 *	0.73 **	0.66 **	0.68 **	0.64 **									
舌状花长	0.18	0.21	0.65 **	0.61 **	0.63 **	0.63 **	0.86 **								
舌状花宽	0.25 *	0.25 *	0.41 **	0.40 **	0.42 **	0.41 **	0.35 **	0.44 **							
舌状花数	0.08	0.13	0.68 **	0.65 **	0.64 **	0.65 **	0.40 **	0.42 **	0.22 *						
管状花数	-0.06	-0.09	-0.28 **	-0.25 *	-0.23 *	-0.24 *	-0.09	-0.11	-0.03	-0.64 **					
株高	0.40 **	0.41 **	0.37 **	0.39 **	0.41 **	0.50 **	0.33 **	0.37 **	0.17	0.25 *	-0.16				
冠幅	0.30 **	0.29 **	0.03	0.05	0.07	0.10	0.08	0.08	0.08	0.05	-0.06	0.54 **			
分枝数	0.04	0.03	-0.26 *	-0.25 *	-0.27 *	-0.29 **	-0.39 **	-0.44 **	-0.42 **	-0.20	0.13	-0.07	0.29 **		
叶长	0.32 **	0.33 **	0.20	0.32 **	0.18	0.30 **	0.13	0.19	0.04	0.13	0.10	0.42 **	0.41 **	0.28 *	
叶宽	0.49 **	0.45 **	0.17	0.30 **	0.15	0.27 *	0.05	0.07	0.04	0.00	0.15	0.54 **	0.38 **	0.18	0.76 **

*, ** 分别表示在 0.05、0.01 水平相关。

由表 5 可以看出,单花鲜质量(X_3)、株高(X_{10})对百花干质量均呈正向直接作用,直接通径系数分别为 0.77、0.22,说明单花鲜质量的直接作用最大。单花鲜质量通过株高作用于百花干质量的间接通径系数为 0.08,小于直接通径系数;株高通过单花鲜质量作用于百花干质量的间接通径系数为 0.28,大于直

接通径系数,二者均为正值,表明单花鲜质量和株高这 2 个性状之间可以相互影响并间接促进茶用菊产量的提升。本研究通过比较各性状的决策系数发现,株高的决策系数最大且为正值(0.17),说明株高是影响茶用菊产量的重要决策指标,对提高产量的作用较大。

表 5 茶用菊 F₁代群体产量(百花干质量)的通径分析
Table 5 Path analysis of yield(100-flower dry weight) in tea chrysanthemum F₁ segregating population

自变量	与 Y 的简单 相关关系	直接通径系数 (直接作用)	间接通径系数(间接作用)			决策系数
			X_3	X_{10}	合计	
单花鲜质量(X_3)	0.85	0.77	-	0.08	0.08	-0.02
株高(X_{10})	0.50	0.22	0.28	-	0.28	0.17

Y:百花干质量。

2.5 主成分分析

对 F₁代群体与产量相关的 16 个性状进行主成分分析,共提取出 4 个特征值大于 1.00 的主成分,其贡献率分别为 40.44%、18.35%、8.94% 和 7.86%,累积贡献率达到 75.59%,说明这 4 个主成分能够将评价指标的绝大部分信息表达出来;根据贡献率、累积贡献率计算出 4 个主成分的权重分别为 0.54、0.24、0.12 和 0.10(表 6)。

表 6 各主成分的特征值、贡献率及权重
Table 6 Eigenvalues, contribution rates and weights of principal components

主成分	特征值	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)	权重
1	6.47	40.44	40.44	0.54
2	2.94	18.35	58.79	0.24
3	1.43	8.94	67.73	0.12
4	1.26	7.86	75.59	0.10

从各主成分的载荷矩阵可以看出,决定第 1 主成分的指标是单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量、花径、舌状花长、舌状花数和株高;决定第 2 主成分的指标是冠幅、叶长和叶宽;决定第 3 主成分的指标主要是管状花数;决定第 4 主成分的指标主要是初花期和盛花期(表 7)。

2.6 高产杂交植株的筛选

基于主成分分析结果,结合隶属函数分析法对 84 个 F_1 代植株进行综合评价,并对计算得到的综合得分进行排序,以此筛选出产量综合性状较好的 F_1 代杂交植株。根据评价结果,筛选出 QS7-37、QS7-75、QS7-111、QS7-14、QS7-47、QS7-10、QS7-13、P18-26-27、QS7-64 和 QS7-90 共 10 个优良的 F_1 代杂交植株(表 8),产量相关性状表现良好,可作为茶用菊高产育种的候选材料。

表 7 主成分因子的载荷矩阵

Table 7 Load matrix of principal component factor

指标	载荷			
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
初花期	0.49	0.59	0.27	-0.55
盛花期	0.52	0.56	0.25	-0.56
单花鲜质量	0.91	-0.20	-0.08	0.01
单花干质量	0.91	-0.10	-0.07	0.04
百花鲜质量	0.88	-0.22	-0.08	0.10
百花干质量	0.90	-0.13	-0.10	0.15
花径	0.77	-0.25	0.24	0.17
舌状花长	0.75	-0.25	0.25	0.21
舌状花宽	0.50	-0.16	0.44	-0.12
舌状花数	0.67	-0.31	-0.53	-0.14
管状花数	-0.30	0.40	0.65	0.50
株高	0.59	0.44	-0.11	0.12
冠幅	0.23	0.60	-0.21	0.10
分枝数	-0.32	0.54	-0.42	0.10
叶长	0.38	0.66	-0.14	0.40
叶宽	0.36	0.76	0.01	0.23

表 8 茶用菊七月白×苏菊 7 号 F_1 代群体高产植株的综合评价结果

Table 8 Comprehensive evaluation results of high-yield hybrid plants in tea chrysanthemum Qiyuebai × Suju 7 F_1 segregating population

杂交植株	盛花期 (d)	单花鲜质量 (g)	百花干质量 (g)	花径 (mm)	株高 (cm)	$U(1)$	$U(2)$	$U(3)$	$U(4)$	综合得分	综合得分 排名
QS7-37	160	3.46	58.86	57.82	67.08	0.90	0.52	0.80	0.69	0.77	1
QS7-75	161	4.44	41.02	59.71	47.75	1.00	0.51	0.43	0.47	0.76	2
QS7-111	157	3.37	44.65	59.47	56.08	0.83	0.60	0.35	0.51	0.69	3
QS7-14	157	2.96	42.10	52.99	43.29	0.72	0.59	0.37	0.48	0.62	4
QS7-47	169	2.79	40.20	61.88	42.42	0.77	0.36	0.67	0.22	0.60	5
QS7-10	163	3.09	36.47	53.60	58.33	0.74	0.45	0.50	0.28	0.60	6
QS7-13	154	2.21	25.39	51.92	43.17	0.50	0.53	1.00	0.56	0.57	7
P18-26-27	159	2.42	39.98	52.98	58.00	0.68	0.48	0.45	0.27	0.56	8
QS7-64	160	1.89	35.27	43.33	65.33	0.58	0.74	0.34	0.30	0.56	9
QS7-90	158	2.04	36.37	43.20	56.50	0.60	0.71	0.24	0.34	0.56	10

$U(1)$ 、 $U(2)$ 、 $U(3)$ 、 $U(4)$ 分别表示主成分 1、主成分 2、主成分 3、主成分 4 的隶属函数值。

3 讨论

杂交育种是最普遍、最有效的常规育种方法。菊花的遗传背景复杂、基因组高度杂合,其杂交后代通常会出现广泛的分离情况,目前关于切花菊、园林小菊重要观赏性状和抗逆性状的综合评价、遗传机制的研究较多^[2-3, 26, 28]。产量是茶用菊育种的重要目标性状,但鲜见茶用菊产量遗传变异的相关研究。在本研究中,笔者调查了茶用菊七月白×苏菊 7 号

F_1 代群体与产量相关性状的遗传变异情况,发现单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量等 4 个产量性状的变异系数为 35.99%~40.18%;进一步分析发现,绝大多数性状的中亲优势均达极显著水平,单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量的中亲优势率为 18.44%~42.45%,超高亲率为 46.51%~68.60%,广义遗传力为 79.94%~100%;该 F_1 代群体的其他株型、花序和叶片的遗传变异与切花菊、园林小菊等观赏菊类似。由此可见,茶用菊七

月白×苏菊7号F₁代群体与产量性状的遗传变异适中,大部分表现出较强的正向中亲优势,普遍存在超亲现象,且广义遗传力较高,可为茶用菊高产杂交育种提供重要依据。

在植物育种实践中,通常通过对与目标性状相关的性状进行选择以提高育种效果,特别是在产量育种中^[18-20, 29-30]。在本研究中,茶用菊七月白×苏菊7号F₁代群体的单花鲜质量、单花干质量、百花鲜质量、百花干质量等4个产量性状与绝大多数形态性状(除冠幅)存在显著或极显著相关,除了与管状花数、分枝数呈负相关外,与其他性状均表现出正相关。为了解析产量构成因素及其选择效果,在相关性分析的基础上,通径分析可以通过分解产量(因变量)与相关性状(自变量)之间的线性关系,以明确相关性状对产量的直接、间接作用,找到影响产量的关键因素,从而明确各相关性状的相对重要性,为统计决策提供可靠依据,因此通径分析法目前已经被广泛用于主要粮食、经济作物的产量相关育种工作中^[13-14, 18]。本研究以茶用菊的百花干质量为因变量,其他相关性状为自变量进行通径分析,发现单花鲜质量、株高对茶用菊产量具有正向直接作用(直接通径系数分别为0.77、0.22),且这2个性状通过彼此之间的影响对茶用菊产量产生了间接促进作用。有研究表明,仅通过直接通径系数、间接通径系数来判定影响权重存在片面性,以决策系数判断影响权重更加可靠^[31]。本研究在通径分析的基础上比较了单花鲜质量、株高的决策系数,发现株高的决策系数(0.17)高于单花鲜质量的决策系数(-0.02),表明株高是影响茶用菊产量的重要指标。因此,在后期高产茶用菊新品种选育过程中,应重点关注株高性状。

由于产量目标性状与其他相关性状之间存在显著相关性,通过单一指标难以客观评价产量性状^[27]。本研究采用主成分分析法达到了简化、综合利用的目的,然后通过综合指标进行隶属函数分析,获得了产量的综合评价值,从而为客观、快速评价茶用菊产量提供了有效方法。本研究从84个茶用菊F₁代杂交植株中筛选得到10个产量较高的植株,可为今后茶用菊高产育种提供重要的中间材料。

参考文献:

[1] 许冰冰. 茶用菊品种的筛选与评价[D]. 南京: 南京农业大学,

2014.

- [2] 何臻,赵凤,张飞,等. 标准切花菊杂交F₁代群体侧枝侧蕾性状的杂种优势和遗传分析[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(1): 1-9.
- [3] SU J, JIANG J, ZHANG F, et al. Current achievements and future prospects in the genetic breeding of chrysanthemum: a review[J]. Horticulture Research, 2019, 6: 109.
- [4] 邓波,王亚磊,林思思,等. 中国菊花精品展传统菊品种资源调查与整理分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1292-1298.
- [5] 张鑫莉. 茶用菊主要有效成分的遗传变异分析与优异资源筛选[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [6] 程建徽,吴江. 药(茶)用菊花品种(系)主要农艺性状的灰色关联度分析[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(3): 229-232.
- [7] 李晓宇,孙晓东,易利,等. 基于形态性状的茶用菊遗传多样性及亲缘关系分析[J]. 中草药, 2021, 44(11): 2559-2563.
- [8] 李媛媛,刘晔,柳丽娜,等. 茶用菊苗期枯萎病抗性鉴定技术研究[J]. 核农学报, 2020, 34(8): 1666-1673.
- [9] 柳丽娜,刘晔,李媛媛,等. 38个茶用菊品种苗期对黑斑病的抗性鉴定[J]. 南京农业大学学报, 2021, 44(1): 68-77.
- [10] 汤肖伟,苏江硕,管志勇,等. 茶用菊苗期抗旱性和耐涝性的综合评价[J]. 园艺学报, 2021, 48(12): 2443-2457.
- [11] 冯晓燕,房伟民,陈发棣,等. 茶、药兼用菊新品系选育[J]. 中草药, 2017, 40(2): 258-263.
- [12] 胡馨. 大花型茶专用菊种质创新与评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2021.
- [13] AKOHOUE F, ACHIGAN-DAKO E G, COULIBALY M, et al. Correlations, path coefficient analysis and phenotypic diversity of a West African germplasm of Kersting's groundnut [*Macrotyloma geocarpum* (Harms) Maréchal & Baudet][J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2019, 66: 1825-1842.
- [14] MAPHUMULO S G, DERERA J, QWABE F, et al. Heritability and genetic gain for grain yield and path coefficient analysis of some agronomic traits in early-maturing maize hybrids[J]. Euphytica, 2015, 206: 225-244.
- [15] NOURAEIN M. Elucidating seed yield and components in rye (*Secale cereale* L.) using path and correlation analyses[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2019, 66(2): 1533-1542.
- [16] 姚金保,张鹏,马鸿翔,等. 小麦品种‘宁麦26’的产量及其构成因素分析[J]. 上海农业学报, 2019, 35(2): 7-11.
- [17] MENGISTU G M, SHIMELIS H, LAING M D, et al. Genetic variability among *Ethiopian sorghum* landrace accessions for major agro-morphological traits and anthracnose resistance[J]. Euphytica, 2020, 216(7): 113.
- [18] 卢坤,申鸽子,梁颖,等. 适合不同产量的环境下油菜高收获指数的产量构成因素分析[J]. 作物学报, 2017, 43(1): 82-96.
- [19] LI M M, LIU Y, WANG C S, et al. Identification of traits contributing to high and stable yields in different soybean varieties across three Chinese latitudes[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10:

- 1642.
- [20] 鲁清,刘浩,李海芬,等. 花生不同株型主要农艺性状的相关分析及其对单株产量的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(6): 1115-1121.
- [21] 栾新生,陈发棣,房伟民,等. 不同定植期和摘心方案下 5 个品种(系)茶用菊生长和产量性状的变化[J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 259-265.
- [22] 李嘉伟,李晓宇,史亚东,等. 基于田间性状和花部性状的茶用菊品系高产及适应性评价[J]. 南京农业大学学报, 2022, 45(1): 37-46.
- [23] LI B, WU R. Heterosis and genotype×environment interactions of juvenile aspens in two contrasting sites[J]. Canadian Journal of Forestry Research, 1997, 27(10): 1525-1537.
- [24] 李鸿渐. 中国菊花[M]. 南京: 江苏省科学技术出版社, 1993.
- [25] 张飞. 菊花重要性状的遗传分析及其连锁遗传图谱构建与 QTL 定位[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [26] SU J, ZHANG F, YANG X, et al. Combining ability, heterosis, genetic distance and their intercorrelations for waterlogging tolerance traits in chrysanthemum[J]. Euphytica, 2017, 213: 42.
- [27] 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, 45(3): 540-548.
- [28] 张飞,房伟民,陈发棣,等. 菊花观赏性状的配合力分析[J]. 园艺学报, 2010, 37(4): 589-596.
- [29] BATTE M, SWENNEN R, UWIMANA B, et al. Traits that define yield and genetic gain in East African highland banana breeding[J]. Euphytica, 2021, 217(10): 193.
- [30] GOUVEIA B T, BARRIOS S C L, DO VALLE C B, et al. Selection strategies for increasing the yield of high nutritional value leaf mass in *Urochloa* hybrids[J]. Euphytica, 2020, 216(3): 38.
- [31] 王恩军,陈垣,韩多红,等. 菰蓝农艺性状与药材产量的相关和通径分析[J]. 核农学报, 2018, 32(2): 399-406.

(责任编辑:徐 艳)