



张莹,关滢,张光琴. 基于层次分析法的芍药属组间杂种引种表现综合评价[J]. 黑龙江农业科学, 2025(3):45-53.

基于层次分析法的芍药属组间杂种引种表现综合评价

张莹,关滢,张光琴

(徐州生物工程职业技术学院 农林工程学院/徐州市现代农业生物技术重点实验室,江苏 徐州 221006)

摘要:为筛选出适宜徐州地区园林应用的芍药属组间杂种品种,以徐州地区引种的35个芍药属组间杂种为材料,从适应性、植株生长特性及观赏特性3个方面选取15个评价指标,对其进行观测,采用层次分析法进行引种表现的综合评价。结果表明,运用层次分析法得到15个评价指标的权重值,其中抗病性、耐热性、花色、花径和绿叶期的权重值较高,分别为0.183,0.166,0.145,0.091和0.078。根据综合得分将35个品种划分为4个等级,优选出‘希拉里’‘公爵夫人’‘芭茨拉’‘奥奇’‘草原魅力’‘唯一’和‘丰美’7个Ⅰ级品种以及‘柠檬梦’‘不可能的梦’‘粉涂鸦’‘索太阳’‘雨中曲’‘先来者’‘卡罗来’‘科珀壶’及‘科拉路易斯’9个Ⅱ级品种。应用层次分析法建立的综合评价体系能够准确地对引种栽培芍药属组间杂种进行评价与分级,筛选出的16个品种可在徐州地区进行园林推广应用。

关键词:芍药属组间杂种;引种表现;综合评价;层次分析法;园林应用

芍药属组间杂种是指芍药属的牡丹组和芍药组的组间杂交种,最初由日本的伊藤东一于1948年

用芍药和牡丹进行杂交育种而得,所育品种命名为‘伊藤’^[1],现已培育百余品种,统称伊藤杂种

收稿日期:2024-11-28

基金项目:徐州市科技计划(现代农业)项目(KC21121);江苏现代农业(花卉)产业技术体系项目(JATS[2023]051);2023年江苏省高职院校青年教师企业实践培训项目(2023QYSJ115)。

第一作者:张莹(1985—),女,硕士,讲师,从事观赏植物栽培与应用研究。E-mail:15505186976@163.com。

通信作者:张光琴(1975—),女,硕士,副教授,从事观赏植物品质形成与调控研究。E-mail:67531541@qq.com。

Analysis of Anthocyanin Content and Related Gene Expression During Fruit Coloring of *Pyrus ussuriensis* Maxim.

LIU Chang¹, REN Aihua², LENG Chunxu³, GU Guangjun¹, HU Yinghui¹, YANG Yue¹, HAN Jilong²

(1. Mudanjiang Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Breeding and Cultivation of Cold Region Fruit Trees, Mudanjiang 157000, China; 2. Horticulture Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150069, China; 3. Institute of Biotechnology, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150023, China)

Abstract: In order to clarify the anthocyanin content in two *Pyrus ussuriensis* Maxim. fruits at different developmental stages, the accumulation trends of the two main components, cyanidin-3-O-glucoside and cyanidin-3-O-galactoside, as well as the expression levels of anthocyanin-related genes. In this study, the contents of anthocyanins and two main components of 5 growing fruits of 'Longxiang' and '79-1' *Pyrus ussuriensis* Maxim. were determined, and the relationship between anthocyanins and main components and related genes were analyzed. The results showed that the anthocyanin content of '79-1' was higher than that of 'Longxiang' during the fruit development of the two *Pyrus ussuriensis* Maxim. varieties, and the anthocyanin content reached the highest 100 days after flowering. The content of two main anthocyanins in the fruit showed an overall trend of first increasing and then decreasing during the fruit development stage, and content reached a peak at 100 days after flowering. The relative expression of anthocyanin synthesis genes *PbMYB108*, *PbMYC2*, *PbbHLH130* and *PbbHLH62* showed a trend of first rising and then falling throughout the whole development period of fruit, which was the same as that of the two main components of anthocyanin. In addition to *PbMYC2*, the expression levels of three other transcriptional regulatory genes, *PbbHLH130*, *PbbH62*, and *PbMYB108*, were lower in '79-1' than in 'Longxiang' at 40 days after flowering. The results of correlation analysis showed that the expression level of *PbMYC2* was not significantly correlated with the anthocyanin content, while the coefficients between *PbMYB108* and *PbbHLH62* and anthocyanin content were greater than 0.5 in both varieties, that they play an important role in anthocyanin synthesis.

Keywords: *Pyrus ussuriensis* Maxim.; 'Longxiang'; '79-1'; fruit development; anthocyanin; gene expression

(Itoh Hybrids)^[2]。芍药属组间杂种具有明显的杂种优势,其植株长势旺、抗性强、观赏价值高,花期介于牡丹和芍药之间,适宜园林和庭院绿化观赏,部分品种还可做芍药切花,备受青睐,被称为“芍药属的未来”,市场推广潜力巨大。我国目前栽培 50 多个品种,主要为美国、加拿大和荷兰等进口品种,在北京^[3]、洛阳^[4]、菏泽及黑龙江^[5]等地适应良好,其他地区未见报导。现有对芍药属组间杂种引种表现的研究较少,主要是从物候期、生长情况和生物学特征等方面进行统计分析,未见对引种表现进行综合评价。观赏植物引种表现综合评价最常用的方法是层次分析法(AHP),这是一种将定性分析与定量分析相结合,把主观的逻辑判断进行定量分析的一种分析方法^[6],整体准确度较高,广泛用于观赏植物品种资源的筛选和评价,例如大花葱^[7]、菊花^[8-9]、月季^[10-11]、杜鹃^[12-13]、樱花^[14]、荚蒾^[15]等观赏植物,在牡丹^[16]和芍药^[17]上也有应用,评价结果与田间表现一致。

徐州地区的气候适宜芍药属植物生长,其中牡丹和芍药在景区、公园和牡丹园等绿地中被广泛应用,但尚未引进芍药属组间杂种。牡丹和芍药在花期吸引了大量人流,增加了旅游经济收入,但两者花期之间有 14 d 空挡,影响了观赏效果,通过引入芍药属组间杂种,能够使芍药属的花期

持续 40 d 以上,有利于提高城市园林绿化利用。因此为筛选出适宜徐州地区园林观赏应用推广的芍药属组间杂种品种,本研究通过引种栽培 35 个芍药属组间杂种品种,从适应性、植株特性和观赏性等 3 个方面筛选出 15 个评价指标,连续 3 年进行观测和记录,采用层次分析法对其在徐州地区的引种表现进行综合评价,以期丰富徐州地区园林绿化植物资源以及为当地的芍药属组间杂种苗木产业化生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为 2020 年 10 月从洛阳市邙山花丰园艺场购买的 35 个芍药属组间杂种品种(表 1),供试品种均 3 年生,生长健壮,无病虫害,根系发达,芽饱满,每个品种 10 株。

于 2020 年 10 月 10 日露地栽植于徐州生物工程职业技术学院琴湖园艺基地中,株行距 70 cm×90 cm。试验地位于 34°15′49″N, 117°07′23″E,年均气温 14 ℃,光照充足,地势较高,排水良好,沙质壤土,pH7.8,EC 值 96 μs·cm⁻¹,有机质含量 5.3 g·kg⁻¹,速效氮 32.9 mg·kg⁻¹,速效钾 199.0 mg·kg⁻¹,速效磷 35.8 mg·kg⁻¹。栽植后进行日常水肥管理、除草及修剪等养护工作。为观察品种的自然抗病性,在观察期间均未打药。

表 1 引种的 35 个芍药属组间杂种品种

序号	品种	序号	品种	序号	品种
1	巴茨拉(Bartzella)	13	先来者(First Arrival)	25	丁香紫(Morning Lilac)
2	公爵夫人(Duchesse de Lorraine)	14	粉涂鸦(Pink Double Dandy)	26	科拉路易斯(Cora Louise)
3	黄涂鸦(Yellow Double Dandy)	15	希拉里(Hillary)	27	白天鹅(White swan)
4	索太阳(Sonoma Sun)	16	梦幻糖李(Visions of Sugar Plums)	28	瑞嘉蒂安(Raggady Ann)
5	花园珍宝(Garden Treasure)	17	奶油草莓(Strawberry Creme)	29	大红天堂(Scarlet Heaven)
6	草原魅力(Prairie Charm)	18	棒棒糖(Lollipop)	30	黑天鹅(Simply Red)
7	边境魅力(Border Charm)	19	绘彩(Pastel Splendor)	31	科珀壶(Kopper Kettle)
8	雨中曲(Singing in the Rain)	20	朱莉亚玫瑰(Julia Rose)	32	魔术巡演(Magical Mystery Tour)
9	柠檬梦(Lemon Dream)	21	戈登(Gordon E. Simonson)	33	卡罗来(Caroline constabel)
10	金丝雀(Canary Brilliants)	22	红涂鸦(Yanke Doudle Dandy)	34	奥奇(Oochigeas)
11	丰美(Scrumdiddleumptious)	23	唯一(Unique)	35	凯利记忆(Callie's Memory)
12	不可能的梦(Impossible Dream)	24	西瓜汁酒(Watermelon Wine)		

1.2 方法

1.2.1 引种相关性状的观测 根据《中华人民共和国植物新品种特异性、一致性和稳定性的测试指南 芍药》(NY/T 2225-2012)^[18]和参考文献介绍的芍药属组间杂种^[4]、牡丹^[19]和芍药^[20]的评价指标和方法,向 50 多位专家和业内人士进行问

卷调查,分析田间表现,从多个性状中筛选出与评价目标最相关的 15 个性状指标,即:生长势、抗病性、耐热性、绿叶期、花枝数、株形、茎粗、茎直立性、株高、花色、花径、花型、花梗粗、群体花期及单花花期性状。

于 2021-2023 年,连续 3 年,各品种选取 6 株

长势平均的单株作为标准株,进行挂牌和观测。适应性在每年7月—8月进行目测,其中抗病性主要记录病害类型、病症及病害程度;耐热性记录叶片的热害症状及热害程度,参照赵大球等^[21]的方法进行热害分析。株形为植株的紧凑性、枝分布情况、冠形等特征;茎直立性为开花时茎的挺拔程度;花枝数为每株开花枝条的数量;株高为盛花期采用精确度为0.1 cm的直尺从地表到植株最高处测量其高度;茎粗在盛花期用精度为0.01 cm的游标卡尺测量地表以上15 cm处的茎的直径;绿叶期为整个植株50%以上叶片为绿色所持续的时间。在观赏性统计中,花色、花型采用目测判断;花径为随机选取一个植株的3个花朵盛开时

的最大直径;花梗粗为盛花期时花朵下方5 cm处的花梗直径;群体花期为品种的第1朵花开放到最后1朵花凋谢所持续的天数;单花花期为1朵花从开放到花瓣萎蔫的天数。

1.2.2 评价结构模型的建立 通过对15个评价性状的调研与基础资料分析,根据各评价因子间的相互关系,采用层次分析法(AHP)构建芍药属组间杂种引种表现的综合评价体系,模型分3层:第1层是目标层(A),引种芍药属组间杂种的园林应用价值综合评价;第2层是约束层(C),包括适应性(C1)、植株特性(C2)及观赏性(C3)三个方面;第3层是指标层(P),包括15个评价因子表(表2)。

表2 芍药属组间杂种品种综合评价的层次分析结构模型

A 目标层	C 约束层	P 指标层
芍药属组间杂种引种表现的综合评价	C1 适应性 C2 植株特性 C3 观赏性	P1 生长势、P2 抗病性、P3 耐热性 P4 绿叶期、P5 花枝数、P6 株型、P7 茎粗、P8 茎直立性、P9 株高 P10 花型、P11 花色、P12 花径、P13 花梗粗、P14 群体花期、P15 单花花期

1.2.3 确定指标的评分标准和指标打分 通过分析田间数据、专家问卷调查和参照文献,制定各指标的评分标准,按照1~5分进行赋值,表现好

为5分,表现良为4分,表现中等为3分,表现稍差为2分,表现差为1分,各指标具体的评分标准如表3所示。

表3 评价指标的赋值标准

指标	赋值标准				
	5分	4分	3分	2分	1分
生长势	强	较强	中等	较弱	弱
抗病性	强,无病害	较强,少数叶有病害	中等,1/3 以内的上层叶有病害	较弱,1/2 以上的叶片有病害	弱,2/3 以上的叶病害严重
耐热性	强,无或轻微叶尖枯焦、叶片枯斑	较强,少于1/3的叶片有热害症状,叶缘变黄、枯焦	中等,少于1/2的叶片有热害症状,叶缘变黄、枯焦	较弱,超过1/2的叶片有变黄、枯焦或枯斑	弱,超2/3的叶片有变黄、枯焦或枯斑
绿叶期/d	长,>180	较长,170~180	中等,160~170	较短,150~160	短,≤150
花枝数/枝	>12	10~12	8~10	6~8	≤6
株形	紧凑,冠圆	较紧,冠较圆	稍散,冠稍圆	较散,枝长有高差,冠不圆	开散,枝长高差大,冠不圆
茎粗/mm	>11	10~11	9~10	8~9	≤8
茎直立性	直立	较直	稍直	较弯	弯曲
株高/cm	高,>60	较高,55~60	中等,50~55	较低,45~50	低,≤45
花型	台阁型	蔷薇型	菊花型	荷花型	单瓣型
花色	纯正干净、复色新奇协调	颜色基本干净、纯正	有杂色,不够纯	杂色多,显污,颜色不纯	杂质多,颜色污,不纯,复色不协调
花径/cm	>16	15~16	14~15	13~14	≤13
花梗粗/mm	>4.8	4.6~4.8	4.4~4.6	4.2~4.4	≤4.2
群体花期/d	>15	13~15	11~13	9~11	≤9
单花花期/d	8	7	6	5	≤4

1.2.4 数据分析 针对测得的数据,使用 Excel 2019 软件对各个指标进行统计、数据处理以及计算综合评分,应用 VaahpV10 软件构建层次分析结构模型、构建判断矩阵、进行一致性检验及权重值计算,建立评价体系。

2 结果与分析

2.1 品种的引种栽培表现

由表 4 可知,在适应性方面,生长势强和较强的品种共 21 个,占 60.00%,而生长弱和较弱的品种共 6 个,仅占 17.14%,说明大部分的品种生长势较好;抗病性强和较强的品种 17 个,占 48.57%,而抗病性弱和较弱的品种 10 个;耐热性强和较强的品种 19 个,而耐热性弱和较弱的品种有 7 个。综合来看,品种间的差异明显,其中‘芭茨拉’‘公爵夫人’‘希拉里’及‘奥奇’4 个品种生长势、抗病性和耐热性均强。此外‘索太阳’‘草原魅力’‘雨中曲’‘柠檬梦’‘粉涂鸦’‘唯一’‘科珀壶’‘卡罗来’及‘凯利记忆’9 个品种的生长势、抗病性和耐热性强或较强,因此,这 13 个品种的适应性较强。

在植株特性方面,不同品种的绿叶期差别较大,其中绿叶期长和较长(>170 d)的品种有 21 个,占 60.00%,而绿叶期短和较短(<160 d)的品种有 9 个,占 25.71%,普遍比芍药的绿叶期长。花枝数平均 11 枝,超过 11 枝的品种有 17 个,占

48.57%。株型紧凑、冠圆及较紧、冠较圆的品种有 25 个,占 71.43%,说明大部分的品种株型优美。茎粗平均为 10.36 mm,普遍比芍药粗。茎直立及较直品种有 25 个,占 71.43%,而茎弯曲和较弯品种较少,仅有 5 个占,14.29%。平均株高为 59.09 cm,其中,株高大于 55 cm 的较高及高品种有 24 个,占 68.57%,而株高低于 50 cm 的较矮及矮品种有 5 个,占 14.29%。

在观赏性方面,35 个品种的花色丰富,有单色和复色,其中单色品种 19 个,以粉和黄为主,少数为紫、白及深红等色;复色品种 16 个,如:‘雨中曲’‘科珀壶’及‘棒棒糖’等品种。平均花径为 14.97 cm,其中‘不可能的梦’花径最大,为 18.78 cm,而‘红涂鸦’花径最小,为 12.25 cm。平均花梗粗为 4.69 mm,普遍比芍药花径粗,均能支撑花朵直立。群体花期平均为 13.80 d,品种间差异较大,超过 13 d 的品种有 19 个,占 54.29%,其中‘唯一’‘粉涂鸦’及‘卡罗来’等 11 个品种的群体花期长,超过 15 d,而‘白天鹅’‘绘彩’及‘黑天鹅’等 11 个品种的群体花期较短,低于 12 d。35 个品种的平均单花花期为 6 d,其中‘公爵夫人’‘不可能的梦’‘希拉里’‘卡罗来’及‘奥奇’等 13 个品种的花期较长,达 7 d 及以上,而‘边境魅力’‘大红天堂’‘雨中曲’‘奶油草莓’及‘唯一’等 10 个品种的花期较短,小于等于 5 d。

表 4 35 个芍药属组间杂种品种在徐州地区的引种表现

序号	品种名	生长势	抗病性	耐热性	绿叶期/d	花枝数/枝	株形	茎粗/mm	茎直立性	株高/cm	花型	花色	花径/cm	花梗粗/mm	群体花期/d	单花花期/d
1	芭茨拉	强	强	强	185	11	紧凑,冠圆	10.67	直立	68.56	蔷薇型	黄,纯	16.31	4.82	14	7
2	公爵夫人	强	强	强	182	13	较紧,冠较圆	11.13	稍直	82.51	台阁型	黄,纯	16.58	5.57	16	8
3	黄涂鸦	弱	较弱	弱	148	7	稍散,冠稍圆	8.85	较直	47.56	菊花型	黄,纯	13.56	4.38	11	7
4	索太阳	较强	强	强	182	11	紧凑,冠圆	9.24	直立	57.36	荷花型	黄,不纯	13.17	4.56	13	6
5	花园珍宝	较弱	较强	中	175	12	紧凑,冠圆	8.67	弯曲	43.67	荷花型	黄,纯	15.79	4.83	13	6
6	草原魅力	强	强	较强	184	7	较紧,冠较圆	12.79	直立	78.94	菊花型	黄,纯	16.36	5.58	14	7
7	边境魅力	中	中	较强	175	5	较紧,冠较圆	8.89	稍直	55.43	单瓣型	黄粉复色,不纯	14.13	4.49	13	5
8	雨中曲	较强	强	强	186	12	较紧,冠较圆	10.34	直立	72.95	单瓣型	黄粉复色,纯	12.67	4.77	10	5
9	柠檬梦	强	较强	较强	173	14	较紧,冠较圆	12.37	较直	70.65	荷花型	黄粉复色,不纯	16.72	4.83	17	5
10	金丝雀	较弱	较弱	较弱	154	8	稍散,冠稍圆	7.67	弯曲	57.42	荷花型	黄粉复色,不纯	12.94	4.24	10	6
11	丰美	中	强	较强	183	16	紧凑,冠圆	12.24	直立	58.74	蔷薇型	粉黄复色,纯	15.72	4.67	15	7
12	不可能的梦	中	较强	较强	176	12	紧凑,冠圆	9.56	直立	59.29	菊花型	粉,纯	18.78	5.13	15	9
13	先来者	中	较强	较强	181	11	紧凑,冠圆	9.30	直立	58.69	菊花型	粉,纯	14.26	4.56	14	7
14	粉涂鸦	较强	较强	较强	166	12	紧凑,冠圆	12.31	较直	65.45	菊花型	粉,纯	14.76	5.26	22	10
15	希拉里	强	强	强	184	15	紧凑,冠圆	11.26	直立	67.78	蔷薇型	粉,纯	16.87	4.9	16	9
16	梦幻糖李	较强	中	中	168	12	紧凑,冠圆	9.75	较直	53.59	单瓣型	粉,不纯	16.84	4.53	16	6
17	奶油草莓	中	中	弱	174	9	紧凑,冠圆	9.95	直立	45.43	单瓣型	粉,不纯	14.53	4.76	11	5
18	棒棒糖	较弱	较弱	较弱	172	7	松散,冠不圆	8.20	稍直	54.69	荷花型	黄紫粉复色,不纯	13.16	4.21	13	5

表 4 (续)

序号	品种名	生长势	抗病性	耐热性	绿叶期/d	花枝数/枝	株形	茎粗/mm	茎直立性	株高/cm	花型	花色	花径/cm	花梗粗/mm	群体花期/d	单花花期/d
19	绘彩	强	弱	中	145	18	紧凑,冠圆	8.89	稍直	53.58	单瓣型	黄粉复色,不纯	13.27	3.46	11	6
20	朱莉亚玫瑰	弱	弱	弱	140	11	开散,冠不圆	9.75	稍直	55.86	单瓣型	粉,不纯	13.21	4.53	9	6
21	戈登	较强	较弱	中	182	10	紧凑,冠圆	9.96	直立	56.49	荷花型	玫红,纯	14.63	4.3	16	5
22	红涂鸦	较强	中	中	167	12	紧凑,冠圆	9.24	直立	55.79	荷花型	红粉,纯	12.25	5.3	14	6
23	唯一	强	较强	强	179	7	较散,冠不圆	14.35	直立	73.64	单瓣型	玫红,纯	16.79	5.53	22	5
24	西瓜汁酒	中	中	较强	157	15	紧凑,冠圆	8.64	直立	52.79	荷花型	酒红,纯	14.24	4.6	16	6
25	丁香紫	较强	中	中	162	12	稍散,稍圆	10.34	直立	58.65	单瓣型	紫粉复色,纯	17.83	5.13	12	6
26	科拉路易斯	中	中	较强	178	11	紧凑,冠圆	10.92	直立	52.34	菊花型	白紫复色,纯	14.58	4.74	15	7
27	白天鹅	弱	弱	中	147	5	开散,冠不圆	7.90	较弯	30.85	荷花型	白紫复色,纯	15.21	4.02	10	6
28	瑞嘉蒂安	中	较弱	中	165	5	稍散,冠稍圆	14.50	直立	58.53	荷花型	白粉复色,纯	14.68	4.79	9	6
29	大红天堂	较强	弱	较弱	147	18	紧凑,冠圆	9.92	较弯	53.79	单瓣型	深红,纯	13.21	4.15	11	4
30	黑天鹅	较强	弱	较弱	143	22	紧凑,冠圆	8.93	较弯	45.62	单瓣型	黑红,纯	13.53	4.11	9	4
31	科珀壶	较强	强	较强	183	11	紧凑,冠圆	11.45	直立	58.49	菊花型	棕黄复色,不纯	14.89	4.52	14	6
32	魔术巡演	强	中	中	173	11	紧凑,冠圆	10.52	直立	71.73	单瓣型	橙粉复色,纯	14.52	4.67	16	4
33	卡罗来	强	较强	较强	154	11	稍散,冠稍圆	12.70	较直	57.75	菊花型	粉紫复色,不纯	16.18	4.52	18	8
34	奥奇	强	强	强	183	12	紧凑,冠圆	12.05	直立	75.83	蔷薇型	粉紫复色,不纯	17.13	4.85	17	9
35	凯利记忆	较强	强	强	182	13	较散,冠不圆	9.35	较直	57.84	单瓣型	黄褐复色,不纯	14.56	4.73	11	7
	平均	—	—	—	169.57	11	—	10.36	—	59.09	—	—	14.97	4.69	13.80	6

2.2 判断矩阵及一致性检验

根据综合评价模型、50 个专家评分、市场调研和田间统计分析,采用 1~9 比率标度法,对约束层(C)和指标层(P)各指标的相对重要程度进行两两逐一比较,构建出 4 个判断矩阵,分别为 A-C_i、C₁-P_i、C₂-P_i 和 C₃-P_i,对各矩阵进行随机一致性检验,结果显示,4 个判断矩阵的一致性比率 CR 值分别为 0.000,0.009,0.007 和 0.007(表 5),均小于 0.1,通过一致性检验,各判断矩阵合理。

2.3 权重分析

根据判断矩阵及一致性检验,计算出约束层(C)对目标层(A)的权重值和指标层(P)对约束层(C)的权重值。由表 5 可知,在约束层(C),适应性(C₁)和观赏性(C₃)的权重值最高,均为 0.400,植株特性(C₂)的权重值最小,为 0.200,说明适应性和观赏性需同时优先考虑。在适应性方面,权重值大小依次为:抗病性(0.458)、耐热性(0.416)、生长势(0.126),表明抗病性和耐热性较

重要。在植株特性方面,绿叶期(0.389)和茎直立性(0.201)列前两位,说明二者较为重要。在观赏性方面,花色的权重值最高(0.363),其次是花径(0.228),说明花色是影响观赏性评价最主要的指标。

将约束层 C_i 对目标层(A)的权重值与指标 P_i 对约束层 C_i 的权重值相乘,得到指标 P_i 对目标层(A)的总权重值(表 5)。15 个指标的总权重值由高到低依次为:抗病性(0.183)、耐热性(0.166)、花色(0.145)、花径(0.091)、绿叶期(0.078)、花型(0.052)、群体花期(0.052)、生长势(0.050)、花茎直立性(0.040)、茎粗(0.033)、花梗粗(0.030)、单花花期(0.023)、株高(0.017)、株型(0.016)和花枝数(0.016)。说明抗病性、耐热性、花色、花径和绿叶期权重值较高,对综合评价影响较大,再次是花型,而株高、株型及花径分枝数等指标的权重值较小,在芍药园林用途综合评价中影响相对较小。

表 5 判断矩阵、权重值和一致性检验

层次结构	判断矩阵					权重 W	一致性检验		总权重	排名	
	A	C ₁	C ₂	C ₃	—		最大特征值 λ_{max}	随机一致性比率 CR			
A-C _i	A	C ₁	C ₂	C ₃	—	—	—	3.000	0.000	—	—
	C ₁	1	2	1	—	—	—	0.400			
	C ₂	1/2	1	1/2	—	—	—	0.200			
	C ₃	1	2	1	—	—	—	0.400			

表 5 (续)

层次结构	判断矩阵								权重	一致性检验		总权重	排名
										最大特征值 λ_{max}	随机一致性比率 CR		
C1-Pi	C1	P1	P2	P3					W	3.009	0.009	—	—
		P1	1	1/4	1/3					0.126		0.050	8
		P2	4	1	1					0.458		0.183	1
		P3	3	1	1					0.416		0.166	2
C2-Pi	C2	P4	P5	P6	P7	P8	P9		W	6.041	0.007	—	—
		P4	1	5	4	3	2	4		0.389		0.078	5
		P5	1/5	1	1	1/2	1/3	1		0.078		0.016	14
		P6	1/4	1	1	1/2	1/3	1		0.082		0.016	14
		P7	1/3	2	2	1	1	2		0.164		0.033	10
		P8	1/2	3	3	1	1	2		0.201		0.040	9
		P9	1/4	1	1	1/2	1/2	1		0.087		0.017	13
		P10	1	1/3	1/2	2	1	2		0.131		0.052	6
		P11	3	1	2	4	3	4		0.363		0.145	3
C3-Pi	C3	P10	P11	P12	P13	P14	P15		W	6.041	0.007	—	—
		P10	1	1/3	1/2	2	1	2		0.131		0.052	6
		P11	3	1	2	4	3	4		0.363		0.145	3
		P12	2	1/2	1	3	2	3		0.228		0.091	4
		P13	1/2	1/4	1/3	1	1/2	1		0.074		0.030	11
		P14	1	1/3	1/2	2	1	2		0.131		0.052	6
		P15	1/2	1/4	1/3	1	1/2	1		0.074		0.023	12

2.4 综合评价

根据田间统计数据 and 赋值标准(表 3),对 35 个品种的各指标进行逐一评分,然后用评分值乘以指标相应的总权重值进行加权计算,得到每个品种的综合评分值。根据品种的综合评价结果(表 6),结合田间表现,把 35 个品种划分为 4 个等级,综合评分 > 4.3 分为 I 级,包括‘希拉里’‘公爵夫人’‘巴茨拉’‘奥奇’‘草原魅力’‘唯一’和‘丰美’7 个品种,其适应性强、观赏价值高,植株特性好,综合表现优,可优先在徐州地区园林中应用推广;综合评分在 3.6~4.3 分为 II 级,包括‘柠檬梦’‘不可能的梦’‘粉涂鸦’‘索太阳’‘雨中

曲’‘先来者’‘卡罗来’‘科珀壶’及‘科拉路易斯’9 个品种,在适应性、观赏性和植株特性上均表现较好,综合表现良,也可在徐州进行园林推广;综合评分在 2.9~3.6 分为 III 级,包括‘凯利记忆’‘西瓜汁酒’及‘丁香紫’等 9 个品种,这些品种综合表现一般,但没有重大缺陷,也可少量应用,以丰富品种多样性;综合评分 < 2.9 分为 IV 级,有 10 个品种,包括‘大红天堂’‘黑天鹅’及‘茉莉亚玫瑰’等,这些品种在适应性、观赏性和植株特性方面均表现差,不宜在徐州地区推广。因此,推荐 7 个 I 级和 9 个 II 级品种在徐州地区进行园林观赏应用,16 个可推广应用的芍药品种花朵特征见图 1。

表 6 35 种芍药属组间杂种引种表现的综合评价结果

序号	品种	适应性	植株特性	观赏性	总评分	等级
1	希拉里(Hillary)	2.000	0.913	1.948	4.948	I
2	公爵夫人(Duchesse de Lorraine)	2.000	0.816	2.000	4.903	I
3	巴茨拉(Bartzella)	2.000	0.865	1.866	4.817	I
4	奥奇(Oochigeas)	2.000	0.897	1.657	4.642	I
5	草原魅力(Prairie Charm)	1.834	0.850	1.813	4.584	I
6	唯一(Unique)	1.817	0.739	1.702	4.345	I
7	丰美(Scrumdiddleumptious)	1.733	0.913	1.600	4.315	I
8	柠檬梦(Lemon Dream)	1.650	0.779	1.754	4.271	II
9	不可能的梦(Impossible Dream)	1.550	0.754	1.843	4.216	II
10	粉涂鸦(Pink Double Dandy)	1.600	0.702	1.713	4.102	II
11	索太阳(Sonoma Sun)	1.950	0.832	1.202	4.053	II
12	雨中曲(Singing in the Rain)	1.950	0.865	1.151	4.052	II
13	先来者(First Arrival)	1.550	0.832	1.572	4.023	II
14	卡罗来(Caroline constabel)	1.650	0.591	1.430	3.742	II
15	科珀壶(Kopper Kettle)	1.783	0.897	0.962	3.712	II

表 6 (续)

序号	品种	适应性	植株特性	观赏性	总评分	等级
16	科拉路易斯(Cora Louise)	1.366	0.787	1.457	3.662	II
17	凯利记忆(Callie's Memory)	1.950	0.759	0.811	3.589	III
18	西瓜汁酒(Watermelon Wine)	1.366	0.582	1.543	3.543	III
19	丁香紫(Morning Lilac)	1.417	0.677	1.336	3.499	III
20	花园珍宝(Garden Treasure)	1.333	0.561	1.588	3.499	III
21	魔术巡演(Magical Mystery Tour)	1.301	0.787	1.316	3.490	III
22	戈登(Gordon E. Simonson)	1.067	0.816	1.484	3.437	III
23	梦幻糖李(Visions of Sugar Plums)	1.250	0.636	1.382	3.321	III
24	红涂鸦(Yanke Doodle Dandy)	1.250	0.677	1.313	3.310	III
25	边境魅力(Border Charm)	1.366	0.578	0.921	2.934	III
26	奶油草莓(Strawberry Creme)	0.867	0.739	0.898	2.521	IV
27	瑞嘉蒂安(Raggady Ann)	1.017	0.630	0.782	2.498	IV
28	黄涂鸦(Yellow Double Dandy)	0.583	0.384	1.347	2.349	IV
29	绘彩(Pastel Splendor)	0.934	0.424	0.748	2.158	IV
30	棒棒糖(Lollipop)	0.800	0.544	0.707	2.104	IV
31	金丝雀(Canary Brilliants)	0.800	0.309	0.884	2.062	IV
32	白天鹅(White swan)	0.733	0.223	0.784	1.757	IV
33	大红天堂(Scarlet Heaven)	0.718	0.416	0.543	1.729	IV
34	黑天鹅(Simply Red)	0.718	0.384	0.491	1.627	IV
35	朱莉亚玫瑰(Julia Rose)	0.400	0.376	0.754	1.599	IV



图 1 I 级和 II 级的 16 个芍药属组间杂种的花部特征

3 讨论

适应性和观赏性是决定品种可否园林观赏应用的两个关键因素^[22]。吴国新^[4]推荐了‘芭茨拉’‘希拉里’及‘大红天堂’等14个观赏性高的芍药属组间杂种品种,但本研究发现‘大红天堂’在徐州地区适应性差,其褐斑病连续3a比较严重,不适宜栽培,因此适应性在引种栽培新品种时必须优先考虑。徐州地区夏季高温多湿、阳光强烈,易产生热害和白粉病、褐斑病等病害,因此在适应性方面,抗病性和耐热性是最重要的指标,这与史小华等^[17]和叶康^[23]的研究结果一致。

在观赏性方面,本研究通过500份以上调查问卷发现,年轻人更喜欢芍药属组间杂种,其中花色纯正、透亮、无杂质或新奇的品种更受欢迎,而复色多、杂质多、不纯、显褪色的品种不受欢迎,因此花色成为最重要的观赏性指标。钱景扬等^[24]和司仕英等^[20]对芍药观赏性评价均未把花色作为评价指标,主要因为牡丹和芍药的花色普遍为纯色、干净、无杂质。园林应用更强调群体观赏效果,因此群体花期比单花花期更重要,群体花期越长观赏效果越好。研究发现,有侧蕾,花枝多及重瓣品种的群体花期较长,而单花、花枝少或单瓣品种的群体花期较短,群花期最长的品种比最短品种可长13d。

在植株特性方面,绿叶期是最重要的评价指标,芍药属组间杂种从8月底开始进入休眠期,叶片逐渐开始枯萎,因此绿叶期越长观赏时间越长,马丽等^[25]在芍药资源的综合评价中也将绿叶期作为重要评价指标。‘奥奇’和‘丰美’等的绿叶期长的品种(>180d),可观赏到10月初,但‘绘彩’‘大红天堂’及‘黑天鹅’等绿叶期短的品种(<150d),在8月底就枯萎了,观赏期少了30d,园林应用价值就低很多。

“芍药属组间杂种”在园林应用上,可栽植于专类牡丹园、公园、广场、学校及庭院等绿化区。配置方式灵活,既可做主景群植于花带、花海,又可做配景丛植于花镜、庭院,通常与牡丹芍药相辅相成。根据市场调研,目前在洛阳应用最多,应用的品种主要有‘芭茨拉’‘希拉里’‘柠檬梦’‘科拉路易斯’‘先来者’‘索太阳’及‘雨中曲’等品种,其

中‘芭茨拉’和‘希拉里’这两个品种最受欢迎,应用面积最广。

本研究主要围绕徐州地区芍药属组间杂种新品种引进和园林应用品种筛选进行,后续将进一步挖掘伊藤杂种的切花^[26]应用价值,开展伊藤杂种切花品种筛选、切花高效栽培技术及切花保鲜技术等研究。此外,针对徐州地区土壤盐碱化问题,开展伊藤杂种耐盐碱品种筛选、盐碱胁迫抗逆生理及抗盐碱栽培种植管理技术等方面的研究,以期为徐州地区伊藤杂种种苗及切花的产业化发展提供技术支撑。

4 结论

本研究采用层次分析法,从适应性、植株特性及观赏特性等3个方面选定了15个最具相关性的评价指标,对徐州地区引种的35个芍药属组间杂种的引种表现进行综合评价。结果表明,抗病性、耐热性、花色、花径和绿叶期是最重要的5个指标;35个品种的综合表现差异较大,优选出‘希拉里’‘公爵夫人’‘芭茨拉’‘奥奇’‘草原魅力’‘唯一’‘丰美’7个I级品种,以及‘柠檬梦’‘不可能的梦’‘粉涂鸦’‘索太阳’‘雨中曲’‘先来者’‘卡罗来’‘科珀壶’和‘科拉路易斯’9个II级品种,这16个品种可在徐州地区进行园林推广应用。

参考文献:

- [1] 郝青,刘政安,舒庆艳,等.中国首例芍药牡丹远缘杂种的发现及鉴定[J].园艺学报,2008,35(6):853-858.
- [2] PAGE M. *Paeonia* Itoh hybrids[J]. *Plantsman*,2005,4:36-39.
- [3] 孙菊芳,成仿云.芍药与牡丹组间杂种引种栽培初报[J].中国园林,2007,23(5):51-54.
- [4] 吴国新,崔玲华,刘少华,等.国外伊藤杂种牡丹引进栽培示范研究[J].北方园艺,2011(24):67-71.
- [5] 庄倩,宋松岩,杜晓琪,等.芍药属组间杂种引进东北地区栽培试验[J].东北林业大学学报,2011,39(4):21-23.
- [6] 朱德宁,韩宇,房伟民,等.多花型园林小菊品质评价与品种筛选[J].南京农业大学学报,2018,41(2):266-274.
- [7] 闵睫,李秋静,申瑞雪,等.23种大花葱品种性状的综合评价[J].黑龙江农业科学,2021(7):69-73.
- [8] 宋想,王钟曼,张秋玲,等.早花露地小菊杂交后代株系的综合评价与筛选[J].中国农业科学,2024,57(1):173-189.
- [9] ZHAO Y, HUO B J, LIN S S, et al. Germplasm innovation and establishment of comprehensive evaluation system for hedgerow garden *Chrysanthemum* [J]. *Agronomy*, 2022, 12(8): 1736.

- [10] 付存念,潘可可,杨程鹏,等.基于层次分析法的温州月季资源适应性评价[J].安徽农业大学学报,2021,48(5):763-770.
- [11] 王子凡,曾广艳,刘爽.19个中国古老月季品种在法江地区周年综合性状评价[J].黑龙江农业科学,2022(6):72-77.
- [12] 蔡美萍,袁媛,陈清西.83个夏鹃品种园林应用综合评价[J].南方农业学报,2018,49(8):1588-1595.
- [13] LIANG J C, CHEN Y L, TANG X X, et al. Comprehensive evaluation of appreciation of *Rhododendron* based on analytic hierarchy process[J]. *Plants*, 2024, 13(4): 558.
- [14] 聂超仁,许小过.基于层次分析法的124份樱花种质资源观赏性评价[J].安徽农业科学,2024,52(14):83-88.
- [15] 田丽媛,施晓梦,王雪芬,等.荚蒾属植物在杭州地区的观赏性评价及园林应用[J].黑龙江农业科学,2021(10):84-88.
- [16] 司宝华,罗建让,张延龙.基于专用目标的紫斑牡丹单株评价与筛选[J].北方园艺,2023(10):65-73.
- [17] 史小华,马广莹,王小斌,等.芍药资源在浙江露地栽培的适应性评价[J/OL].分子植物育种,2022[2024-04-02].
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220401.1515.002.html>.
- [18] 中华人民共和国农业部.植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南芍药;NY/T 2225—2012[S].北京:中国农业出版社,2013:7-12.
- [19] 章志红,王玉琴.常熟市引种牡丹品种调查和综合性评价研究[J].浙江林业科技,2021,41(5):57-61.
- [20] 司徒英,孟秦语,孙道阳,等.关中地区引种芍药品种的综合性状评价[J].西北林学院学报,2021,36(6):134-139.
- [21] 赵大球,韩晨霞,陶俊.不同芍药品种耐热性鉴定[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2015,36(4):105-109.
- [22] 黄元贞,刘海平,马良,等.基于层次分析法评价12种虾脊兰属植物的观赏性和生长适应性[J].福建农林大学学报(自然科学版),2018,47(6):667-672.
- [23] 叶康.上海地区栽培芍药园林应用价值的综合评价[J].江苏农业科学,2019,47(22):155-158.
- [24] 钱景扬,卢莉莉,李芹,等.国外芍药品种在扬州地区的引种观测及综合评价[J].福建农业学报,2023,38(10):1155-1162.
- [25] 马丽,陈芬,任静,等.宿迁市引种芍药资源的综合评价[J].北方农业学报,2022,50(6):98-104.
- [26] CUI L T, CHEN T, ZHAO X, et al. Karyotype analysis, genomic and fluorescence *in situ* hybridization (GISH and FISH) reveal the ploidy and parental origin of chromosomes in *Paeonia* Itoh hybrids [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(19): 11406.

Comprehensive Evaluation on Introduction Performance of *Paeonia* Itoh Hybrids Based on AHP Method

ZHANG Ying, GUAN Ying, ZHANG Guangqin

(College of Agriculture and Forestry Engineering, Xuzhou Vocational College of Bioengineering / Xuzhou City Key Laboratory of Modern Agro-Biotechnology, Xuzhou 221006, China)

Abstract: In order to identify suitable varieties of *Paeonia* Itoh Hybrids for landscaping applications in Xuzhou, the Analytic Hierarchy Process (AHP) was employed to evaluate the performance of 35 introduced varieties based on their adaptability, plant growth characteristics, and ornamental traits. The results showed that the weights of disease tolerance, heat resistance, flower color, flower diameter, and green leaf period were higher than those of other indices, with values of 0.183, 0.166, 0.145, 0.091, and 0.078, respectively. Based on the comprehensive evaluation scores, the 35 varieties were classified into four grades. Among them, seven varieties, including ‘Hillary’ ‘Duchesse de Lorraine’ ‘Bartzella’ ‘Oochigeas’ ‘Prairie Charm’ ‘Unique’ and ‘Scrumdiddleumptious’ were classified as Grade I. While nine varieties, including ‘Lemon Dream’, ‘Impossible Dream’, ‘Pink Double Dandy’, ‘Sonoma Sun’, ‘Singing in the Rain’, ‘First Arrival’, ‘Caroline constabel’, ‘Kopper Kettle’ and ‘Cora Louise’ were classified as Grade II. The comprehensive evaluation system established using the Analytic Hierarchy Process effectively assessed and classified the introduced *Paeonia* Itoh hybrids, and the selected 16 varieties were found to be well-suited for landscaping in Xuzhou Region.

Keywords: *Paeonia* Itoh hybrids; introduction performance; comprehensive evaluation; analytic hierarchy process; landscaping application