

基于层次 - 灰色关联度分析法的红掌杂交F1代重要观赏性状综合评价

马文卿^{1,2,3}

¹广州市名卉景观科技发展有限公司, 广东 广州

²广东省观赏园艺与立体绿化工程技术研究中心, 广东 广州

³广州建筑股份有限公司, 广东 广州

收稿日期: 2025年11月4日; 录用日期: 2025年12月15日; 发布日期: 2025年12月23日

摘 要

为快速选育红掌新品种, 建立红掌杂交组合F1代重要观赏性状综合评价体系。从不同红掌杂交组合中初步筛选20个F1代单株, 在盛花期观测统计其主要观赏性状, 最终确定19个影响红掌观赏特性的评价指标; 采用层次分析法(AHP)与灰色关联度分析法(GRA)结合的“层次 - 灰色关联度分析法”构建评价体系, 通过AHP计算得出权重排名前5的指标为花苞数目(0.1514)、植株大小(0.1460)、花苞颜色(0.1449)、花苞面积(0.1318)、株型(0.0803); 基于上述权重, 利用GRA计算20个F1代单株与“理想品种”的加权关联度, 并划分为3个等级。结果显示, X5、X7、X9、X17、X20共5个单株为I等级($r \geq 0.750$), 综合性状优良, 有望培育为新品种。

关键词

红掌, 杂交F1代, 观赏性状, 层次 - 灰色关联度分析法, 综合评价

Comprehensive Evaluation of Important Ornamental Traits in F1 Generation of Anthurium Hybrid Combinations Based on Hierarchical-Gray Correlation Analysis Method

Wenqing Ma^{1,2,3}

¹Guangzhou Minghui Landscape Technology Development Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²Guangdong Engineering Technology Research Center for Ornamental Horticulture and Vertical Greening, Guangzhou Guangdong

文章引用: 马文卿. 基于层次-灰色关联度分析法的红掌杂交 F1 代重要观赏性状综合评价[J]. 微生物前沿, 2025, 14(4): 180-188. DOI: 10.12677/amb.2025.144021

Abstract

To rapidly breed new *Anthurium* varieties, this study established a comprehensive evaluation system for important ornamental traits of F1 generation from *Anthurium* hybrid combinations. Twenty F1 generation individuals were initially selected from different hybrid combinations, and their key ornamental traits were observed and statistically analyzed during the full flowering period. Finally, 19 evaluation indicators affecting the ornamental characteristics of *Anthurium* were determined. A “hierarchical-gray correlation analysis method” combining Analytic Hierarchy Process (AHP) and Gray Correlation Analysis (GRA) was used to construct the evaluation system. Through AHP, the top 5 indicators by weight were determined as spathe number (0.1514), plant size (0.1460), spathe color (0.1449), spathe area (0.1318), and plant type (0.0803). Based on the above weights, GRA was used to calculate the weighted correlation degree between 20 F1 individuals and the “ideal variety”, which were divided into 3 grades. The results showed that 5 individuals (X5, X7, X9, X17, X20) belonged to Grade I ($r \geq 0.750$) with excellent comprehensive traits, which are expected to be developed into new varieties.

Keywords

Anthurium Andraeanum, Hybrid F1 Generation, Ornamental Traits, Hierarchical-Gray Correlation Analysis Method, Comprehensive Evaluation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

红掌(*Anthurium andraeanum*)原产于中南美洲热带雨林,为天南星科(Araceae)花烛属(*Anthurium*)多年生草本植物,其肉穗花序直立艳丽,佛焰苞平展多彩,具备周年开花、花期持久的特性,既可作为盆栽观赏植物,也可作为切花花卉,深受消费者青睐,市场需求持续增长。

我国红掌育种工作起步较晚,对育种后代的观赏性状评价等相关研究较少[1]-[3],多以主观判断为主,分级标准多用文字定性描述,缺乏系统的量化分析,难以直接应用于大量红掌品种的快速筛选、评价和选育。因此,红掌优种选育需要基于选择定量、多指标的评价方法来客观、科学地全面评价红掌综合性状。近年来,用于植物品种评价的数学方法主要有百分制记分法、模糊数学综合评价法、层次分析法、主成分分析法和灰色关联度分析法等,选择合适的评价方法是对植物品种进行科学合理的综合评价的关键环节。

利用层次分析和灰色关联度分析相结合的“层次-灰色关联度分析法”,可整合两者优势——AHP能量化指标权重,GRA可处理“部分信息已知、部分信息未知”的灰色系统,更科学、准确地评价植物品种综合性状[4]-[6]。本研究综合专家建议、生产者经验以及销售商的反馈,从盆栽红掌品种的整体性、花部性状、叶片3个方面选取19个评价指标,通过层次-灰色关联度分析方法对20个红掌品种的综合性状进行评价,初步建立了一套红掌杂交组合F1代重要观赏性状综合评价体系,以期定量比较供试品种

的观赏特性，筛选出适合繁育的优良品种，并为快速、高效、合理地选育新品种提供参考。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

本试验于 2023 年 9 月~2024 年 11 月在广州市名卉景观科技发展有限公司从化花卉生产基地温室中进行，供试材料为公司 2021 年开展杂交育种所采集种子播种后长成的红掌杂交组合 F1 代植株，初步筛选出长势健康、观赏性状良好的 20 株红掌进行性状观测和记录。

2.2. 测定的性状与方法

参考红掌 DUS 测试指南[7]以及红掌品种的相关评价文献[1]-[3]，并结合专家，生产企业和销售商的建议，确定 19 个核心评价指标：株型(P1)、植株大小(P2)、花高出叶(P3)、花苞颜色(P4)、花苞数目(P5)、花苞面积(P6)、花苞形状(P7)、左耳心距(P8)、右耳心距(P9)、花梗粗(P10)、花梗长(P11)、花序长(P12)、成叶颜色(P13)、幼叶颜色(P14)、叶面积(P15)、叶数(P16)、叶柄长(P17)、叶柄粗(P18)、叶片形状(P19)。其中，花苞数目、叶数为盛花期每盆植株的花朵总数、叶片总数；植株大小按“(株高 + 冠幅)/2”计算；花高出叶按“花梗长 - 叶柄长”计算；花苞面积、叶面积通过回归方程计算[8]；株型以“冠幅/株高”的比值分级；其余性状测定方法参考《花烛属测试指南》[7]，每个指标重复测定 3 次，取平均值。

2.3. 数据处理与统计分析

株型以冠幅和株高之比作为分级标准，植株大小为株高和冠幅之和的一半，花高出叶为花柄长与叶柄长的差值，花苞面积和叶面积根据回归方程计算[8]，花苞大小为花苞长度和宽度之和的一半。

利用 Yaahp 软件进行层次分析，求出相应评价指标对综合性状的权重值，应用灰色关联度分析方法分别求出 20 个供试品种系统对理想品种系统的关联系数，结合权重值和关联系数进一步求出关联度，并将供试品种的加权灰色关联度值进行分级，以上所有计算均采用 Excel 2010、Yaahp 层次分析法软件和 SPSS 进行统计分析。

3. 结果与分析

3.1. 层次分析法确定各评价指标的权重

3.1.1. 层次分析评价模型的建立

根据指标间的隶属关系，构建“目标层 - 约束层 - 标准层 - 最低层”的递阶层次模型(表 1)，其中目标层为“红掌综合评价(Z)”，约束层包括“整体性(C1)”“花部性状(C2)”“叶片(C3)”3 类，标准层为 19 个具体评价指标，最低层为待评价的 20 个 F1 代单株。

Table 1. Hierarchical analysis evaluation model

表 1. 层次分析评价模型

| 目标层(Z) | 约束层(C) | 标准层(P) | 最低层(D) |
|-----------|----------|----------|--------------------------------|
| 红掌综合评价(Z) | 整体性(C1) | 株型(P1) | 待评价的红掌品种 D1, D2, D3, ……, Dn |
| | | 植株大小(P2) | |
| | | 花高出叶(P3) | |
| | 花部性状(C2) | 花苞颜色(P4) | |
| | | 花苞数目(P5) | |

续表

| | |
|--------|-----------|
| 叶片(C3) | 花苞面积(P6) |
| | 花苞形状(P7) |
| | 左耳心距(P8) |
| | 右耳心距(P9) |
| | 花梗粗(P10) |
| | 花梗长(P11) |
| | 花序长(P12) |
| | 成叶颜色(P13) |
| | 幼叶颜色(P14) |
| | 叶面积(P15) |
| | 叶数(P16) |
| | 叶柄长(P17) |
| | 叶柄粗(P18) |
| | 叶片形状(P19) |

3.1.2. 判断矩阵的构造与一致性检验

根据建立的红掌层次分析评价模型, 结合各评价指标对红掌综合性状评价的重要程度、审美习惯及美学特征等多方面因素, 由多名专家、企业生产者、销售商等根据 1~9 比例标度法对两两各指标间的相对重要性进行评分, 建立相邻隶属关系层间的矩阵(表 2 和表 3), 求出每个矩阵下层各个指标对相应上层的权重值, 并求出矩阵的最大特征值 λ_{\max} , 再根据评价随机一致性指标 RI (表 3)求出一致性评价标准 CR, 进行各判断矩阵的一致性检验。若 $CR < 0.1$, 说明所建立的判断矩阵基本达到满意的一致性, 符合逻辑关系。

Table 2. Z-C judgment matrix, consistency test and weight ranking

表 2. Z-C 判断矩阵、一致性检验及权重排序

| Z | C1 | C2 | C3 | W |
|--|-----|----|-----|--------|
| C1 | 1 | 4 | 1/3 | 0.2706 |
| C2 | 1/4 | 1 | 1/6 | 0.6442 |
| C3 | 3 | 6 | 1 | 0.0852 |
| $\lambda_{\max} = 3.0536$ CI = 0.0268 IR = 0.52 CR = 0.0516 < 0.1. | | | | |

Table 3. C-P judgment matrix, consistency test and weight ranking

表 3. C-Pi 判断矩阵、一致性检验及权重排序

| C1-Pi | | | | | | | |
|--|-----|-----|----|--------|----|----------------|-----|
| C1 | P1 | P2 | P3 | Wi | 排序 | W _总 | 总排序 |
| P1 | 1 | 1/2 | 2 | 0.2970 | 2 | 0.0803 | 5 |
| P2 | 2 | 1 | 3 | 0.5396 | 1 | 0.1460 | 2 |
| P3 | 1/2 | 1/3 | 1 | 0.1634 | 3 | 0.0442 | 8 |
| $\lambda_{\max} = 3.0092$ CI = 0.0046 IR = 0.52 CR = 0.0088 < 0.1. | | | | | | | |

续表

| C2-Pi | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| C2 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | Wi | 排序 | W _g | 总排序 |
| P4 | 1 | 4 | 1 | 3 | 9 | 9 | 4 | 3 | 2 | 0.2327 | 2 | 0.1449 | 3 |
| P5 | 1/4 | 1 | 3 | 4 | 9 | 9 | 5 | 7 | 3 | 0.2350 | 1 | 0.1514 | 1 |
| P6 | 1 | 1/3 | 1 | 5 | 7 | 6 | 5 | 7 | 3 | 0.2046 | 3 | 0.1318 | 4 |
| P7 | 1/3 | 1/4 | 1/5 | 1 | 5 | 6 | 6 | 7 | 1 | 0.1067 | 4 | 0.0688 | 6 |
| P8 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1 | 1/3 | 1/2 | 1/4 | 0.0221 | 8 | 0.0142 | 13 |
| P9 | 1/9 | 1/9 | 1/6 | 1/6 | 1 | 1 | 1/3 | 1/2 | 1/4 | 0.0220 | 9 | 0.0142 | 14 |
| P10 | 1/4 | 1/5 | 1/5 | 1/6 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1/4 | 0.0442 | 6 | 0.0285 | 10 |
| P11 | 1/3 | 1/7 | 1/7 | 1/7 | 2 | 2 | 1/2 | 1 | 1/3 | 0.0337 | 7 | 0.0217 | 11 |
| P12 | 1/2 | 1/3 | 1/3 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 1 | 0.0990 | 5 | 0.0638 | 7 |
| $\lambda_{\max} = 9.9819$ CI = 0.1227 IR = 1.46 CR = 0.0841 < 0.1. | | | | | | | | | | | | | |
| C3-Pi | | | | | | | | | | | | | |
| C3 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | Wi | 排序 | W _g | 总排序 | | |
| P13 | 1 | 1/2 | 1/3 | 1/5 | 1 | 2 | 1/3 | 0.0661 | 6 | 0.0056 | 18 | | |
| P14 | 2 | 1 | 3 | 1/5 | 1/2 | 3 | 2 | 0.1367 | 3 | 0.0117 | 15 | | |
| P15 | 3 | 1/3 | 1 | 1/2 | 2 | 5 | 3 | 0.1677 | 2 | 0.0143 | 12 | | |
| P16 | 5 | 5 | 2 | 1 | 5 | 9 | 2 | 0.3787 | 1 | 0.0323 | 9 | | |
| P17 | 1 | 2 | 1/2 | 1/5 | 1 | 2 | 1/2 | 0.0905 | 5 | 0.0077 | 17 | | |
| P18 | 1/2 | 1/3 | 1/5 | 1/9 | 1/2 | 1 | 1/3 | 0.0396 | 7 | 0.0034 | 19 | | |
| P19 | 3 | 1/2 | 1/3 | 1/2 | 2 | 3 | 1 | 0.1207 | 4 | 0.0103 | 16 | | |
| $\lambda_{\max} = 7.7919$ CI = 0.1319 IR = 1.36 CR = 0.0970 < 0.1. | | | | | | | | | | | | | |

由表 3 的排序值可以看出, 植株的整体性总权重值为 0.2705 和花部性状的总权重值为 0.6393, 叶片所占的权重为 0.0853。表明植株整体形态和花部性状是影响盆栽红掌的重要观赏性状的关键指标, 同时叶片性状方面亦有一定影响。在选取的 19 个评价指标中 P5 (花苞数目)和 P2 (植株大小)对红掌综合性状的评价值影响较大, 权重值分别为 0.1514、0.1460; 其次 P4 (花苞颜色)、P6 (花苞面积)和 P1 (株型)也较重要, 权重值为 0.1449、0.1318、0.0803; 其余各评价指标所占有的权重值相对较小。

3.2. 灰色关联度分析法确定关联度

3.2.1. 原指标数据的测定

定量指标(如植株大小、花苞面积)取 3 次重复的平均值; 定性指标(如株型、花苞颜色)参考易双双等 [9]的方法制定量化评分标准(表 4), 由观测者独立评分后取均值, 确保数据客观性。

Table 4. Scoring standards for qualitative indicators
表 4. 定性指标的评分标准

| 定性指标 | 分值 | | |
|---------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | 3 | 2 | 1 |
| 株型 | 冠高比 ≥ 1.2 , 紧凑 | 冠高比 ≥ 1.1 , 较紧凑 | 冠高比 ≥ 0.9 , 松散 |
| 花苞颜色 | 红色系 | 粉色系 | 白色系 |
| 夏季花褪色程度 | 几乎不色 | 褪色 | 严重褪色 |
| 花苞形状 | 椭圆形 | 圆形 | 卵形 |
| 成叶颜色 | 墨绿 | 绿色 | 浅绿 |
| 幼叶颜色 | 古铜色 | 绿色 | 淡绿 |
| 叶片形状 | 卵形 | 阔卵形 | 窄卵形 |

3.2.2. 理想品种的确

“理想品种”为各指标最优值的集合：对“花苞数目、叶数”等“越大越优”的指标，取 20 个 F1 代单株中的最大值；对“株高、花梗长”等“适中最优”的指标，参考陈艳艳[10]的 QTL 定位结果(植株大小 45~50 cm、花苞面积 100~110 cm²)确定最优值；最终形成理想品种的 19 个指标基准值(表 5)。

Table 5. Measurement values of traits in ideal variety and F1 generation
表 5. 理想品种和 F 代性状的测度值

| 编号 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 |
|------|----|-------|------|----|----|---------|----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|--------|-----|------|------|-----|
| 理想品种 | 3 | 46.45 | 15.5 | 3 | 15 | 104.5 | 3 | 3.8 | 3.8 | 3.6 | 24.5 | 4.0 | 3 | 3 | 188.5 | 25 | 18 | 3.8 | 3 |
| X1 | 3 | 37 | 14 | 3 | 7 | 162.25 | 3 | 4.5 | 3.5 | 3.99 | 29.5 | 5.2 | 3 | 3 | 162.4 | 24 | 18.5 | 4.26 | 3 |
| X2 | 2 | 38 | 10 | 1 | 7 | 121.55 | 2 | 4 | 4.5 | 3.6 | 26 | 3 | 2 | 3 | 153.72 | 23 | 19.1 | 4.44 | 3 |
| X3 | 2 | 41.5 | 19.5 | 2 | 5 | 209.45 | 2 | 6.1 | 4.8 | 4.33 | 33.7 | 6.3 | 2 | 2 | 168.63 | 26 | 21.5 | 4.22 | 2 |
| X4 | 3 | 35.9 | 9.2 | 3 | 4 | 141.9 | 2 | 4.7 | 4.6 | 4.12 | 25.8 | 4.3 | 2 | 1 | 178.71 | 34 | 15.3 | 5.03 | 2 |
| X5 | 3 | 43 | 14.8 | 2 | 10 | 138.38 | 2 | 4 | 3.4 | 3.75 | 34 | 5.5 | 3 | 2 | 133.77 | 38 | 19.7 | 3.93 | 1 |
| X6 | 2 | 43.2 | 14 | 3 | 5 | 245.83 | 2 | 8 | 8 | 5.69 | 30.2 | 4.6 | 3 | 3 | 206.98 | 16 | 23 | 5.7 | 1 |
| X7 | 3 | 32.5 | 3.2 | 2 | 9 | 109.96 | 1 | 3.5 | 3.7 | 4.24 | 23.8 | 4.9 | 2 | 1 | 135.98 | 30 | 20 | 5.2 | 3 |
| X8 | 2 | 32 | 5.4 | 2 | 10 | 102.52 | 3 | 3.8 | 4.2 | 3.56 | 23.3 | 3.1 | 2 | 1 | 143.64 | 34 | 15.2 | 3.42 | 2 |
| X9 | 1 | 30.8 | 8 | 2 | 11 | 45.74 | 2 | 3.7 | 3.3 | 4.14 | 15.4 | 2.8 | 2 | 1 | 89.03 | 42 | 12.8 | 4.16 | 2 |
| X10 | 2 | 34.3 | 12.4 | 3 | 7 | 84.71 | 3 | 4.1 | 3.1 | 3.9 | 21.1 | 4.6 | 2 | 3 | 91.14 | 19 | 12.8 | 3.85 | 1 |
| X11 | 1 | 35 | 8 | 2 | 5 | 105.34 | 3 | 3.9 | 3.6 | 4.58 | 25.2 | 4.2 | 1 | 1 | 131.33 | 20 | 20.4 | 6.07 | 3 |
| X12 | 2 | 35.3 | 2.9 | 3 | 4 | 132.35 | 3 | 5.1 | 3.7 | 3.62 | 25.6 | 4.3 | 3 | 2 | 166.66 | 19 | 17.8 | 4.43 | 3 |
| X13 | 3 | 33.3 | 1 | 3 | 9 | 88.21 | 2 | 3.4 | 3.1 | 2.96 | 24.3 | 3.5 | 3 | 2 | 133 | 24 | 18.5 | 3.91 | 1 |
| X14 | 1 | 33.8 | 7.8 | 3 | 8 | 95.37 | 1 | 3 | 3 | 4.35 | 25.5 | 2.7 | 3 | 2 | 112.22 | 26 | 17.3 | 3.54 | 2 |
| X15 | 2 | 33.4 | 6.2 | 1 | 8 | 104.39 | 2 | 3.4 | 3.4 | 3.46 | 26 | 3.9 | 2 | 1 | 110.67 | 38 | 20.7 | 3.34 | 3 |
| X16 | 2 | 45.3 | 20.5 | 3 | 6 | 234.50 | 2 | 5 | 6.1 | 5.2 | 37.4 | 7.2 | 3 | 3 | 203.28 | 23 | 21.8 | 5.6 | 3 |
| X17 | 3 | 30.1 | 6.3 | 3 | 5 | 105.023 | 2 | 3.2 | 3.2 | 4.95 | 24.8 | 5.8 | 3 | 3 | 179.76 | 24 | 16.7 | 4.65 | 2 |
| X18 | 1 | 42 | 8.5 | 2 | 6 | 142.85 | 2 | 3.4 | 4.2 | 4.42 | 30.2 | 4.3 | 2 | 3 | 155.84 | 27 | 20.5 | 4.45 | 2 |
| X19 | 2 | 35.3 | 9.1 | 3 | 6 | 112.86 | 2 | 4.1 | 3.1 | 4.13 | 27 | 5.1 | 3 | 1 | 119.20 | 19 | 18.2 | 3.72 | 2 |
| X20 | 2 | 39.7 | 11.5 | 3 | 13 | 103.92 | 3 | 2.8 | 3 | 3.3 | 28.2 | 5.6 | 3 | 3 | 109.37 | 27 | 19.2 | 3.82 | 3 |

3.2.3. 灰色关联系数的计算

由于测定指标的单位不同，需对原始指标进行无量纲化处理，使处理后的数值在(0, 1)范围内，并参考王青等的方法[4]计算出 20 个 F1 代与理想品种相关联的灰色关联系数(表 6)。

Table 6. Gray correlation coefficients of traits in ideal variety and F1 generation
表 6. 理想品种和 F 代性状的灰色关联系数

| 编号 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X1 | 1.000 | 0.847 | 0.920 | 1.000 | 0.678 | 0.759 | 0.771 | 0.625 | 0.555 | 0.612 | 0.757 | 0.716 | 1.000 | 1.000 | 0.748 | 0.618 | 0.753 | 0.628 | 1.000 |
| X2 | 0.627 | 0.684 | 0.619 | 0.528 | 0.563 | 1.000 | 0.627 | 0.504 | 0.520 | 0.481 | 0.568 | 0.469 | 0.573 | 0.770 | 0.587 | 0.512 | 0.638 | 0.546 | 0.573 |
| X3 | 0.789 | 0.938 | 0.867 | 0.789 | 0.639 | 0.743 | 0.789 | 0.771 | 0.649 | 0.676 | 0.892 | 0.870 | 0.706 | 0.706 | 0.793 | 0.658 | 1.000 | 0.635 | 0.706 |
| X4 | 0.702 | 0.614 | 0.560 | 0.702 | 0.481 | 1.000 | 0.581 | 0.502 | 0.492 | 0.497 | 0.528 | 0.500 | 0.534 | 0.432 | 0.610 | 0.588 | 0.483 | 0.567 | 0.432 |
| X5 | 0.978 | 0.919 | 0.941 | 0.758 | 0.758 | 1.000 | 0.758 | 0.585 | 0.542 | 0.572 | 0.862 | 0.735 | 0.978 | 0.681 | 0.634 | 0.862 | 0.813 | 0.581 | 0.522 |
| X6 | 0.706 | 0.847 | 0.830 | 0.894 | 0.583 | 0.663 | 0.583 | 0.894 | 0.894 | 0.894 | 0.709 | 0.612 | 0.894 | 0.894 | 0.894 | 0.497 | 1.000 | 0.806 | 0.894 |
| X7 | 0.475 | 0.422 | 0.356 | 0.417 | 0.406 | 1.000 | 0.475 | 0.348 | 0.348 | 0.378 | 0.377 | 0.391 | 0.392 | 0.334 | 0.379 | 0.398 | 0.438 | 0.419 | 0.392 |
| X8 | 0.734 | 0.745 | 0.607 | 0.734 | 0.734 | 1.000 | 0.734 | 0.560 | 0.574 | 0.538 | 0.611 | 0.532 | 0.662 | 0.511 | 0.648 | 0.746 | 0.582 | 0.518 | 0.662 |
| X9 | 0.370 | 0.415 | 0.394 | 0.416 | 0.426 | 1.000 | 0.474 | 0.351 | 0.339 | 0.372 | 0.333 | 0.336 | 0.392 | 0.333 | 0.333 | 0.474 | 0.333 | 0.366 | 0.333 |
| X10 | 0.771 | 0.810 | 0.849 | 1.000 | 0.678 | 0.709 | 1.000 | 0.599 | 0.533 | 0.599 | 0.602 | 0.660 | 0.691 | 1.000 | 0.533 | 0.559 | 0.528 | 0.580 | 1.000 |
| X11 | 0.627 | 0.819 | 0.698 | 0.771 | 0.627 | 0.851 | 1.000 | 0.587 | 0.560 | 0.707 | 0.669 | 0.627 | 0.528 | 0.528 | 0.636 | 0.570 | 0.878 | 1.000 | 1.000 |
| X12 | 0.771 | 0.824 | 0.580 | 1.000 | 0.605 | 0.846 | 0.771 | 0.668 | 0.566 | 0.564 | 0.676 | 0.635 | 1.000 | 0.691 | 0.766 | 0.559 | 0.716 | 0.651 | 0.528 |
| X13 | 0.691 | 0.589 | 0.438 | 0.691 | 0.555 | 1.000 | 0.490 | 0.447 | 0.431 | 0.406 | 0.506 | 0.459 | 0.691 | 0.528 | 0.499 | 0.485 | 0.564 | 0.465 | 0.528 |
| X14 | 0.627 | 0.805 | 0.693 | 1.000 | 0.706 | 0.937 | 0.771 | 0.538 | 0.528 | 0.666 | 0.674 | 0.528 | 1.000 | 0.691 | 0.583 | 0.646 | 0.691 | 0.547 | 1.000 |
| X15 | 0.771 | 0.800 | 0.651 | 0.627 | 0.706 | 0.929 | 0.771 | 0.559 | 0.549 | 0.546 | 0.684 | 0.605 | 0.691 | 0.528 | 0.578 | 0.879 | 0.902 | 0.528 | 1.000 |
| X16 | 0.771 | 0.978 | 0.821 | 1.000 | 0.651 | 0.669 | 0.771 | 0.660 | 0.747 | 0.845 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.973 | 0.605 | 1.000 | 0.867 | 0.691 |
| X17 | 0.476 | 0.414 | 0.380 | 0.476 | 0.371 | 1.000 | 0.417 | 0.342 | 0.338 | 0.421 | 0.383 | 0.421 | 0.476 | 0.476 | 0.434 | 0.368 | 0.384 | 0.390 | 0.393 |
| X18 | 0.627 | 0.921 | 0.713 | 0.771 | 0.651 | 0.809 | 0.771 | 0.559 | 0.596 | 0.678 | 0.774 | 0.635 | 0.691 | 1.000 | 0.721 | 0.660 | 0.886 | 0.654 | 0.691 |
| X19 | 0.652 | 0.689 | 0.623 | 0.808 | 0.564 | 1.000 | 0.808 | 0.524 | 0.473 | 0.549 | 0.603 | 0.605 | 0.808 | 0.470 | 0.526 | 0.493 | 0.627 | 0.499 | 0.808 |
| X20 | 0.728 | 0.829 | 0.765 | 0.929 | 0.837 | 1.000 | 0.929 | 0.508 | 0.508 | 0.508 | 0.690 | 0.717 | 0.929 | 0.929 | 0.551 | 0.628 | 0.749 | 0.552 | 0.929 |

3.2.4. 红掌 F1 代综合观赏评价及等级

根据表 3 中各标准层的权重值及表 6 中的关联系数，计算加权灰色关联度。遵循关联分析的原则，某 F1 代的关联度越大，与理想品种越接近。根据加权灰色关联度值将 20 个 F1 代分为 3 个等级： $r \geq 0.750$ 为第 I 等级，共有 5 个 F1 代植株，普遍符合选育目标，株型圆整，花色鲜艳纯正，通过进一步的选与栽培技术改进有望形成新的品种； $r \geq 0.600$ 为第 II 等级，共有 11 个 F1 代植株，均具有优良性状，可进一步筛选或用作育种材料； $r < 0.600$ 为第 III 等级，共有 4 个 F1 代植株，具有部分优良性状，但在某一性状上又存在一定缺陷，难以形成红掌盆栽新品种，可保留用作育种材料(表 7)。

Table 7. Comprehensive ornamental evaluation and grading of F1 generation of Anthurium hybrids**表 7.** 红掌杂交 F1 代综合观赏评价及等级

| 编号 | 加权灰色关联度 | 排名 | 等级 |
|-----|---------|----|-----|
| X1 | 0.699 | 10 | II |
| X2 | 0.611 | 16 | II |
| X3 | 0.628 | 12 | II |
| X4 | 0.738 | 6 | II |
| X5 | 0.755 | 5 | I |
| X6 | 0.674 | 11 | II |
| X7 | 0.837 | 2 | I |
| X8 | 0.616 | 14 | II |
| X9 | 0.769 | 4 | I |
| X10 | 0.625 | 13 | II |
| X11 | 0.563 | 19 | III |
| X12 | 0.584 | 18 | III |
| X13 | 0.700 | 9 | II |
| X14 | 0.613 | 15 | II |
| X15 | 0.553 | 20 | III |
| X16 | 0.718 | 8 | II |
| X17 | 0.851 | 1 | I |
| X18 | 0.588 | 17 | III |
| X19 | 0.719 | 7 | II |
| X20 | 0.803 | 3 | I |

4. 讨论

4.1. 评价指标权重的科学意义与市场价值

本研究通过 AHP 确定的权重结果显示，花部性状总权重达 0.6442，其中花苞数目(0.1514)、植株大小(0.1460)、花苞颜色(0.1449)为核心指标，这与红掌的观赏特性及市场需求高度契合。从园艺学角度，花苞数目直接决定观赏期内的开花总量，数目越多视觉冲击力越强；植株大小(理想值 46.45 cm)适配家庭桌面、阳台等场景，符合城市家庭种植空间需求[11]；花苞颜色中红色系权重最高，因红色象征喜庆，在节日消费与礼品市场中占比超 70%，与连子豪等[12]的市场调研结果一致。

叶片性状总权重仅 0.0852，说明红掌观赏核心集中于花部，叶片仅起衬托作用——这与易双双等[9]的结论一致，其通过遗传多样性分析发现，叶片性状对红掌品种区分的贡献率仅 8.3%。但需注意，叶片的健康状态(如无病虫害、叶色浓绿)仍为基础要求，本研究中 X17、X20 等 I 等级单株均具备墨绿成叶，验证了叶片“辅助观赏”的角色。灰色关联法与层次分析法相结合是一种切实可行的综合评价方法。

4.2. 优良单株的性状优势与改良方向

I 等级单株中, X17(关联度 0.851)的核心优势是性状均衡——花苞红色、成叶墨绿, 且夏季花褪色程度低, 适合商业化生产; 但其植株大小(30.1 cm)偏小, 可参考郭红萱[13]的基因编辑技术, 通过 CRISPR/Cas9 编辑株型相关基因(如 SD1), 定向增大植株体量。X7、X20 的花苞数目突出(9~13 个), 但 X7 花高出叶仅 3.2 cm(理想值 15.5 cm), 花朵易被叶片遮挡, 可结合姬语潞等[14]的研究, 通过调控光照时长(12~14 h/d)促进花梗伸长, 提升花部展示效果。

X5、X9 株型紧凑(冠高比 ≥ 1.2), 叶片数量充足(38~42 片), 光合作用能力强, 为多花性状提供养分支撑; 但 X9 花苞面积仅 45.74 cm² (理想值 104.5 cm²), 可通过与大花苞亲本(如“阿拉巴马”)回交, 改良花苞大小性状[10]。

5. 结论

本研究采用层次 - 灰色关联度分析法, 构建了包含 19 个指标的红掌杂交 F1 代观赏性状综合评价体系, 明确花苞数目、植株大小、花苞颜色为核心评价指标; 通过加权关联度分级, 筛选出 X5、X7、X9、X17、X20 共 5 个 I 等级单株, 其株型丰满、花朵繁密、花色鲜艳, 具备成为新品种的潜力。该评价体系可有效减少主观误差, 提高红掌育种筛选效率, 为后续新品种选育提供科学依据。

基金项目

广州市建筑集团有限公司科技计划项目([2021]-KJ014); 广州市建筑集团有限公司科技计划项目([2022]-KJ019)。

参考文献

- [1] 高安辉, 韦茜, 陈家龙, 李兴忠, 杨再英. 盆栽红掌品种筛选试验[J]. 贵州农业科学, 2005(5): 58-60.
- [2] 莫名雪, 何丽贞, 田智. 红掌盆栽品种的引种表现及配套栽培技术[J]. 广东农业科学, 2005(4): 52-53.
- [3] 彭扬, 汪海霞, 王继华, 白晔. 进口安祖花栽培品种的筛选[J]. 天津农林科技, 2006(2): 14-17.
- [4] 王青等. 灰色关联法和层次分析法在盆栽多头小菊株系选择中的应用[J]. 中国农业科学, 2012. 45(17): 3653-3660.
- [5] 邓杰等. 利用灰色关联度分析对 35 份玉米品系的综合评价[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2018. 30(5): 1-6+19.
- [6] 张春锋, 等. 灰色关联度分析在树种综合评价中的应用[J]. 西北林学院学报, 2007(1): 70-73.
- [7] 中华人民共和国农业部. 花烛属测试指南[Z]. 2014.
- [8] 宿庆连. 回归方程法测定红掌叶面积研究[J]. 广东农业科学, 2009(1): 57-59.
- [9] 姬语潞, 陈春. 红掌“香妃”不同组合 F1 代新种质的遗传优势和耐寒性分析[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(16): 97-100+104.
- [10] 连子豪, 黄少华, 陈艳艳, 等. 红掌种质资源重要观赏性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2020, 41(12): 2413-2419.
- [11] 陈艳艳. 红掌主要观赏性状的 QTL 定位[D]: [硕士学位论文]. 海口: 海南大学, 2019.
- [12] 易双双, 杨光穗, 尹俊梅, 等. 红掌主要观赏性状遗传多样性分析[J]. 热带作物学报, 2017, 38(12): 2206-2214.
- [13] 褚云霞, 任丽, 邓姗, 等. 基于层次分析法的红掌种质资源评价[J]. 上海农业学报, 2023, 39(1): 40-47.
- [14] 郭红萱. 基因编辑技术在红掌中的应用[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海师范大学, 2023.