

基于 AHP 与灰色关联度法综合评价不同半夏种质资源的差异性

查钦¹, 周茂嫦¹, 黄晓旭¹, 李恒谦¹, 袁丽², 邹涛¹, 王永¹, 张翔宇^{1*}, 阮培均^{1*}
(1. 毕节市中药研究所, 贵州 毕节 551700; 2. 毕节医学高等专科学校, 贵州 毕节 551700)

[摘要] 目的: 结合层次分析(AHP)与灰色关联度法建立半夏种质资源的评价方法, 探讨不同种质资源栽培于同一生境下对品质成分、生产效率和外观性状的差异性。方法: 分别对15个种质资源的水分、总灰分、浸出物、总酸含量等品质成分指标, 收获指数、产量、折干率等效率指标, 块茎商品率、腐烂率、畸形度等性状指标进行测定, 基于AHP和灰色关联度法综合处理各指标数据, 计算其综合关联值, 对不同半夏种质资源进行综合评价。结果: 综合品质成分、生产效率和外观性状3个层次的因素, A6贵州威宁种源的综合关联值最高, 达到了0.7494; 次高的分别是A14湖北天门, A15贵州赫章和A7湖南湘西, 其综合关联值分别为0.7366, 0.7262, 0.7182。A6贵州威宁的种源可作为优良半夏种源进行引种栽培研究, A14湖北天门, A15贵州赫章和A7湖南湘西的种源可作为引种的有益补充。结论: AHP和灰色关联度法综合评价的方法简单、全面, 可用于不同半夏种质资源的差异性评价, 为资源开发利用及优质种源的筛选提供了参考依据。

[关键词] 半夏; 种质资源; 结合层次分析; 灰色关联度法; 综合评价

[中图分类号] R284.2; R289; R22; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)05-0108-09

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20200515

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.r.20191126.1644.005.html>

[网络出版时间] 2019-11-27 08:53

Comprehensive Evaluation of Differences of Pinelliae Rhizoma Germplasm Resources Based on AHP and Grey Correlation Method

ZHA Qin¹, ZHOU Mao-chang¹, HUANG Xiao-xu¹, LI Heng-qian¹, YUAN Li², ZOU Tao¹, WANG Yong¹,
ZHANG Xiang-yu^{1*}, RUAN Pei-jun^{1*}

(1. Bijie Institute of Traditional Chinese Medicine, Bijie 551700, China;
2. Bijie Medical College, Bijie 551700, China)

[Abstract] **Objective:** To establish the evaluation method of Pinelliae Rhizoma (PR) resources by the analytic hierarchy process (AHP) and grey correlation degree (GCD) method, so as to explore the differences in quality components, production efficiency and appearance traits of different germplasm resources cultivated in the same environment. **Method:** The quality component index, efficiency index, and appearance traits index of 15 germplasm resources were measured, including moisture, total ash, extractives, total acid content, harvest index, yield, drying rate, commodity rate, decay rate and deformability of tubers. Based on AHP and grey correlation method, each indicator data was processed in a comprehensive way, its comprehensive correlation value

[收稿日期] 20191024(006)

[基金项目] 国家科技支撑计划项目(2015BAI05B03); 贵州省中药现代化科技产业研究开发专项(黔科合SY字[2014]3028-4号); 毕节市成果转化项目(毕科成字[2014]8号); 毕节市科学技术项目(毕科合字[2015]41号); 毕节市科技计划项目(毕科合[2016]47号); 省市共建中药材检测检验重点实验室项目(SSHZ[2012]05号); 贵州省第七批人材基地建设(贵州省毕节市优势中药材研发基地建设)项目

[第一作者] 查钦, 助理研究员, 从事药用植物资源开发与利用研究, E-mail: charlqing@163.com

[通信作者] * 张翔宇, 副研究员, 从事药用植物资源研究, E-mail: 304626335@qq.com;

* 阮培均, 研究员, 从事药用植物选育及栽培研究, E-mail: rpj3819@126.com

was calculated, and different PR germplasm resources were comprehensively evaluated. **Result:** Based on three factors-quality composition, production efficiency and appearance traits, the comprehensive correlation value of A6 was the highest, reaching 0.749 4, which was followed by A14, A15, A7, and their comprehensive correlation values were 0.736 6, 0.726 2, 0.718 2, respectively. Therefore, the source of A6 could be used as an excellent provenance introduced to the cultivation of PR, and the provenance of A14, A15, and A7 could be used as a useful supplement. **Conclusion:** The method of AHP and GCD-based multi-index comprehensive evaluation is simple and comprehensive to evaluate the diversity of different PR germplasm resources, and could provide a reference for the development and utilization of resources and the screening of high-quality provenances.

[**Key words**] Pinelliae Rhizoma; germplasm resources; analytic hierarchy process method; grey correlation method; multi-index comprehensive evaluation

半夏为天南星科半夏属植物的干燥块茎,具有燥湿化痰、降逆止呕、消痞散结等功效^[1]。近年来,随着半夏野生资源的日益匮乏和市场对半夏的大量需求,栽培品已成为该药材的主要来源,全国很多省市建立了半夏种植基地,其中贵州半夏因其色泽饱满,药材品质良好等优点备受市场青睐。贵州省是野生半夏的重点分布区域,同时也是贵州喀斯特山区重点发展的中药材之一,主要分布在毕节中、西部,其中,毕节市赫章县是贵州省半夏药材的主产区。通过对半夏轮作方式、适宜播种期、栽培密度、施肥量等的研究,已逐渐形成较完善的成套栽培技术^[2-5]。但由于不同半夏群居在生理上存在较大差异,转为人工栽培后又出现新的类型^[6],由于遗传和环境因素的双重作用,半夏不同地区的居群变异类型各不相同,且在异地引种过程中容易失败^[7]。发展半夏人工栽培的一个重要问题是缺少优良种质,因此,半夏种质的客观评价和筛选是限制人工栽培的一个重要瓶颈。

已有文献报道一些关于半夏种质资源比较的研究,但多以半夏产量、总生物碱含量、含水量、收获指数、种径病情指数等为评价指标^[8-10]。对半夏等级划分具有重要影响的半夏块茎畸形度、商品等级百分数等性状指标的研究很少,使得评价不全面,对指导不同半夏种源之间的差异性比较具有局限性。因此,建立一种科学、可量化的综合评价体系,并将定性和定量指标相结合,是目前亟需解决的现实问题。

目前,半夏资源筛选研究的数据分析方法主要有单一指标对比分析、相关分析和聚类分析等,采用层次分析(AHP)及灰色关联法可以确定体系因素间的相互影响程度或不同因素对体系的贡献度,近年来在中药基础研究领域已被广泛应用^[11-14],为半夏种源筛选的外观性状定量描述和比较提供新思路和方法。

本研究收集省内外半夏种质资源 15 份,以栽培于同一生境下的半夏种质资源为研究对象,运用 AHP 和灰色关联法综合评价不同半夏种质资源的差异性,以优选出适合本实验地区栽培的种质资源。为了全面客观地反映半夏种源引种栽培的适应性,本文在现已报道的评价指标基础上,增加了性状因子(块茎商品率,块茎腐烂率和畸形度),构建了成分因子(水分、灰分、浸出物和总酸含量),效率因子(收获指数、产量、折干率),共 3 个目标层,10 个指标的评价体系。在 AHP 对各指标权重进行科学赋值的基础上,联合灰色关联度法综合评价不同半夏种源引种栽培的差异性,根据综合关联值大小排序得到最优的种质资源,本文运用多指标综合评价避免了单一指标评价的不全面性,尤其是将难以量化的外观性状指标纳入评价体系使评价结果更接近客观值,对实际生产更具有科学的指导作用。

1 材料

K-98-II A 型电热恒温水浴锅(天津市泰斯特仪器有限公司);SG5200HD 型超声波清洗器(上海冠特超声仪器有限公司);A2004N 型电子天平(上海菁海仪器有限公司);SX2-4-10NP 型箱式电阻炉(上海一恒科技有限公司);BGZ-70 型电热鼓风干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂);SHZ-C 型数显水浴恒温振荡器(常州普天仪器制造有限公司);SL-3250B 型磁力搅拌器(海门市其林贝尔仪器制造有限公司);PHS-3E 型雷磁 PH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司)。

琥珀酸(中国食品药品鉴定研究院,批号 110896-201602,供含量测定用);甲基红指示剂(天津市光复精细化工研究所);溴甲酚绿指示剂(天津市永大化学试剂有限公司);碳酸钠基准试剂(成都市科龙化工试剂厂);酚酞(天津市风船化学试剂科技有限公司);邻苯二甲酸氢钾(天津基准化学试剂

有限公司);95%乙醇(分析纯,成都市科龙化工试剂厂);氢氧化钠、盐酸均为分析纯。

实验材料系收集自全国 15 个不同产地,分别为甘肃西河、四川南充、山西新绛、河北保定、湖北襄阳、贵州威宁、湖南湘西、山东沂水、贵州大方、河北安国、山东菏泽、河南息县、河南内乡、湖北天门、贵州赫章(A1~A15)。经毕节市中药研究所阮培均研究员鉴定均为天南星科植物半夏 *Pinellia ternata*。

试验地位于贵州省赫章县河镇乡板底村,海拔 2 194.1 m,东经 104.31°,北纬 27.36°,无霜期 280 d,年降雨量 920 mm,年均气温 12.8 °C,试验地前茬马铃薯,土壤细腻铁红色、土地平整。于 2017 年 3 月 18 日播种,9 月 16 日采收,播种前用 50% 的多菌灵 1 000 倍液浸泡约 4 min,每个种质资源播种小区面积为 3 m²,3 次重复,每平方米按 600 粒撒播。按每 667 m² 施腐熟厩肥 1 400 kg,磷肥(P₂O₅) 12 kg 作基肥施用。

2 方法

2.1 半夏块茎性状调查 收获各试验小区时,采取 4 分法对各试验小区称取鲜半夏 1 kg,统计块茎腐烂粒数占总粒数的百分比表示半夏块茎腐烂率;在鲜半夏块茎中逐个挑选出畸形的半夏,按畸形粒数占其总粒数的百分比表示半夏块茎畸形度。

2.2 半夏收获指数、产量、鲜块茎商品率及折干率考察 收获各试验小区时,出去杂物及病害半夏块茎,称量每小区的半夏块茎鲜重,计算其收获指数^[9]、小区产量和折合 667 m² 的产量。

对各试验小区半夏鲜块茎进行分级,按块茎直径 > 1.2 cm 记为商品级,以商品级粒数占总粒数百分比表示块茎商品率。将各试验小区商品级半夏块茎清洗去皮后置于网袋中沥干,置于 60 °C 干燥至完全,计算折干率(折干率 = 干品质量/鲜品质量 × 100%;收获指数 = 收获总质量/播种总质量)。

2.3 半夏块茎检查及测定 水分检查按 2015 年版《中国药典》通则 0832 第二法测定。总灰分检查按 2015 年版《中国药典》通则 2302 测定。浸出物检查照水溶性浸出物测定法(通则 2201)项下的冷浸测定。半夏总酸测定参照王兵等^[15]测量方法。

2.4 多指标综合评价法比较不同半夏种源引种栽培的差异性

2.4.1 AHP 各指标权重确定 AHP 是美国著名运筹学家 T L Saaty 教授于 1970 年代初提出的一种权重决策分析方法,既包含了主观的逻辑判断和分析,又发挥了定量分析的优势^[16]。根据半夏各性状指

标间的相互关系,建立了 3 个层次的综合评价模型,见表 1。根据目标树图各层次评分标准,比较同一层次目标的相对重要性,并构成两两比较矩阵,确定各指标对综合性状的影响权重,消除了由主观认识上引起的差异,使加权值更客观合理^[17],见表 2,3。通过对不同层次的判断矩阵进行一致性检验,得 A-C_i层, C₁-P_i层, C₂-P_i层, C₃-P_i层随机一致性比率 CR 分别为 0, 0.047 3, 0 和 0.046 3, CR 值均 < 0.1, 认为判断矩阵具有满意的一致性,表明权重系数合理有效,目标层为半夏综合品质,各层次指标的权重值 λ 见表 3。

表 1 不同种质资源综合评价因子的分层结构模型

Table 1 Hierarchical structure model of comprehensive evaluation factors for different germplasm resources

中间层	指标层
C1 成分因子	P1 水分
	P2 总灰分
	P3 浸出物
	P4 半夏总酸
C2 效率因子	P5 收获指数
	P6 667 m ² 产量
	P7 折干率
C3 性状因子	P8 块茎商品率
	P9 块茎腐烂率
	P10 块茎畸形度

表 2 目标树图各层次评分标准

Table 2 Scoring criteria of target tree map at different levels

标度	含义
1	2 个指标同等重要
3	一个指标比另一个指标略为重要
5	一个指标比另一个指标基本重要
7	一个指标比另一个指标确实重要
9	一个指标比另一个指标绝对重要
2, 4, 6, 8 标度的倒数	两相邻程度的中间值

2.4.2 综合评价方法 根据灰关联法技术^[18]和多指标综合评价理论^[19],将不同种质资源各指标视为灰色系统的单因素,联合 AHP 与灰关联度法对各种质资源进行评价、排序和优选。选择各指标的最优值与极值之比,建立参考模式序列 $x_0(k)$,将不同种质资源相应的指标含量设为指标模式序列 $x_i(k) = (k_1, k_2, k_3, \dots, k_n, k_{n+1})$ 。然后进行初值化法处理,既每个数列除以首数字进行无量纲化处理后的标

表 3 判断矩阵及权重、最大特征值、一致性比率

Table 3 Judgment matrix and weight, maximum eigenvalue, consistency ratio

项目	判断矩阵				权重值 (λ)	最大 特征值	一致性 比率(CR)
A-C _i	C1	C2	C3				
C1	1	1	6		0.461 53	3.000	0
C2	1	1	6		0.461 53		
C3	1/6	1/6	1		0.076 93		
C1-P _i	P1	P2	P3	P4			
P1	1	2	1/4	1/8	0.079 0	4.127 7	0.047 3
P2	1/2	1	1/5	1/8	0.052 8		
P3	4	5	1	1/4	0.236 2		
P4	8	8	4	1	0.631 9		
C2-P _i	P5	P6	P7				
P5	1	1	3		0.428 6	3.000	0
P6	1	1	3		0.428 6		
P7	1/3	1/3	1		0.142 9		
C3-P _i	P8	P9	P10				
P8	1	1/3	2		0.249 3	3.053 7	0.046 3
P9	3	1	3		0.593 6		
P10	1/2	1/3	1		0.157 1		

准数据。根据 2.4.1 层次分析法确定出各指标的权重值 λ_i , 根据公式(1) 计算出灰关联系数 $\xi_i(k)$, 根据公式(2) 计算出加权后的灰关联值 R_i , R_i 越大表明与参考序列越接近、效果越好; 得出不同种质资源外观性状指标、成分指标和效率指标后的关联值后, 根据式(3) 计算得综合关联值 $R_{综}$, 并根据 $R_{综}$ 数值的大小得出不同种质资源的优劣综合排序, 从而得出适宜本地区种植的优质半夏种质资源。

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \beta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \beta \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中 $\xi_i(k)$ 表示 x_i 相对于 x_0 在 k 个指标的关联系数, 为比较值 x_i 与参考值 x_0 的相对值; $|x_0(k) - x_i(k)|$ 表示第 k 个指标 x_i 与 x_0 的绝对差; β 为分辨系数, 一般按最少信息原理取 $0.5^{[20]}$ 。

$$R_i = \sum_{k=1}^n \lambda_i \xi_i(k) \quad (2)$$

式中 R_i 为加权后的总灰色关联值, λ_i 为个指标的权重值, $\xi_i(k)$ 为各指标的关联系数。

$$R_{综} = R_{成分} \times \lambda_{成分} + R_{效率} \times \lambda_{效率} + R_{性状} \times \lambda_{性状} \quad (3)$$

式中 $R_{综}$ 为综合关联值, $R_{成分}$, $R_{效率}$, $R_{性状}$ 分别表示成分指标、效率指标、性状指标的关联值, $\lambda_{成分}$,

$\lambda_{效率}$, $\lambda_{性状}$ 分别表示成分指标、效率指标、性状指标的权重值。

3 结果

3.1 半夏种质资源块茎性状调查 表 4 所得资料表明, 各半夏种质资源的畸形度不同, 其中 A8 山东沂水的畸形度最高为 3.24%, A4 河北保定的畸形度最低为 0.18%, 极差为 3.06%, RSD 为 57.6%。表 5 所得资料表明, 各半夏种质资源的块茎腐烂率不同, 其中 A1 甘肃西河的块茎腐烂率最高为 50.45%, A6 贵州威宁的块茎腐烂率最低为 0.94%, 极差为 49.51%, RSD 为 154.0%。经方差分析, 不同半夏种质资源的块茎畸形度和腐烂率之间存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。

表 4 半夏不同种质资源的畸形度

Table 4 Different germplasm resources deformity of *Pinellia ternate*

编号	小区鲜品畸形度/%			平均 畸形度/%	标准偏差 (SD)/%
	I	II	III		
A1	2.24	0	0	0.75	1.29
A2	0.89	0	0.31	0.40	0.45
A3	1.33	1.95	2.53	1.93	0.60
A4	0.55	0	0	0.18	0.32
A5	2.02	2.28	2.12	2.14	0.13
A6	2.77	1.13	2.65	2.18	0.92
A7	1.47	0.87	2.75	1.70	0.96
A8	3.92	2.54	3.25	3.24	0.69
A9	2.53	3.56	2.21	2.76	0.71
A10	1.90	1.17	0.68	1.25	0.62
A11	2.09	2.10	1.55	1.92	0.31
A12	1.07	0.79	1.53	1.13	0.37
A13	0.85	0.69	0	0.51	0.11
A14	2.27	2.49	1.76	2.17	0.37
A15	4.29	2.90	2.48	3.23	0.95

3.2 半夏种质资源收获指数及折合 667 m² 产量 表 6 所得资料表明, 各半夏种质资源的收获指数不同, 其中 A9 贵州大方的收获指数最高为 3.23, A13 河南内乡的收获指数最低为 0.37, 极差为 2.86, RSD 为 50.3%。经方差分析, 不同半夏种质资源块茎畸形度和腐烂率之间存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。

根据半夏种质资源引种试验的产量结果可知, A2 四川南充, A4 河北保定与 A6 贵州威宁, A14 湖北天门, A15 贵州赫章的产量差异极显著; A11 山东

表 5 半夏不同种质资源的腐烂率

Table 5 Different germplasm resources decay rate of *Pinellia ternate*

编号	小区半夏块茎腐烂率/%			平均块茎腐烂率/%	标准偏差 (SD)/%
	I	II	III		
A1	40.46	61.72	49.17	50.45	10.69
A2	76.27	90.26	80.91	82.48	7.13
A3	42.42	13.51	9.06	21.66	18.11
A4	2.18	3.60	2.57	2.78	0.73
A5	18.15	8.69	9.61	12.15	5.22
A6	0.65	1.57	0.62	0.94	0.54
A7	1.84	1.44	3.98	2.42	1.37
A8	2.63	1.42	0.84	1.63	0.91
A9	2.17	2.15	2.08	2.13	0.05
A10	15.29	10.39	11.73	12.47	2.53
A11	3.77	3.49	2.50	3.25	0.67
A12	8.30	9.51	8.89	8.90	0.61
A13	6.06	4.94	5.50	5.50	0.79
A14	12.42	12.19	9.78	11.46	1.46
A15	2.01	2.31	2.04	2.12	0.16

表 6 半夏不同种质资源的收获指数

Table 6 Gain index of different germplasm resources of *Pinellia ternate*

编号	小区收获指数/%			平均收获指数/%	标准偏差 (SD)/%
	I	II	III		
A1	1.34	0.98	1.44	1.25	0.24
A2	0.46	0.48	0.39	0.44	0.05
A3	1.66	1.71	1.85	1.74	0.10
A4	1.61	1.72	1.79	1.71	0.09
A5	2.58	2.82	2.95	2.78	0.19
A6	2.76	2.95	3.10	2.94	0.17
A7	1.78	1.76	1.86	1.80	0.05
A8	2.63	2.69	3.00	2.77	0.20
A9	3.03	3.23	3.44	3.23	0.21
A10	1.38	1.59	1.78	1.58	0.20
A11	0.82	0.95	0.94	0.90	0.07
A12	1.67	1.87	1.79	1.78	0.10
A13	0.41	0.38	0.31	0.37	0.05
A14	1.12	1.31	1.18	1.20	0.10
A15	1.58	1.49	1.62	1.56	0.07

菏泽, A10 河北安国与 A12 河南息县, A8 山东沂水的产量差异显著; A15 贵州赫章, A7 湖南湘西, A5 湖北襄阳与 A12 河南息县, A8 山东沂水, A3 山西新绛, A9 贵州大方的产量差异显著。可见, 不同半夏种质资源的产量有显著性差异。见表 7。

表 7 半夏种质资源引种试验产量

Table 7 Yield results of *Pinellia ternata* germplasm resources

编号	小区鲜品产量 /kg·(3 m ²) ⁻¹			平均鲜品产量/kg	667 m ² 鲜产量 /kg	差异显著性	
	I	II	III			5%	1%
A6	2.71	2.86	2.46	2.68	595.11	a	A
A14	2.16	2.61	2.47	2.41	536.56	b	AB
A15	2.63	2.08	2.41	2.37	527.67	bc	AB
A7	2.43	2.26	1.98	2.22	494.32	bc	B
A5	1.94	2.27	2.16	2.12	472.09	c	B
A12	1.35	1.54	1.65	1.51	336.46	d	C
A8	1.46	1.34	1.28	1.36	302.37	d	CD
A3	1.33	1.49	1.13	1.32	292.74	de	CD
A9	1.31	1.18	1.43	1.31	290.52	de	CD
A11	0.94	1.07	1.15	1.05	234.19	ef	DE
A10	0.87	0.74	0.91	0.84	186.76	fg	EF
A13	0.73	0.69	0.58	0.67	148.22	gh	FG
A1	0.66	0.52	0.68	0.62	137.85	gh	FG
A4	0.63	0.58	0.65	0.62	137.85	gh	FG
A2	0.32	0.46	0.49	0.42	94.12	h	G

注:小写字母表示 5% 显著水平,大写字母表示 1% 显著水平。

图 1 所得资料表明,各半夏种质资源折干率的 RSD 为 17.4%,存在显著性差异, A13 河南内乡的折干率最低为 26.05%, A7 湖南湘西的折干率最高为 43.85%; 各半夏种质资源鲜块茎商品率的 RSD 为 34.1%,存在显著性差异, A4 河北保定鲜块茎商品率最低为 11.55%, A15 贵州赫章鲜块茎商品率最高为 43.69%。

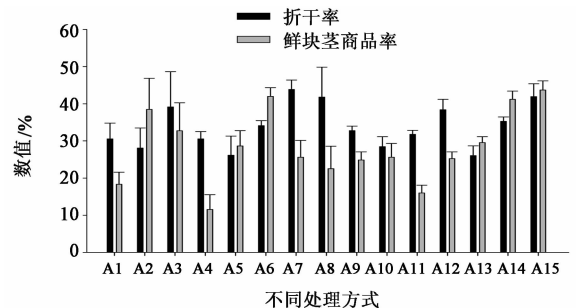


图 1 半夏不同种质资源的折干率与鲜块茎商品率

Fig.1 Drying and commodity tubers rate of different germplasm resources of *Pinellia ternate*

3.3 不同半夏种质资源的检查及测定 表 8 所得资料表明,各半夏种质资源的水分和总灰分均达 2015 年版《中国药典》半夏项下水分不得过 14.0%,总灰分不得过 4.0% 的要求; A5 湖北襄阳,

A12 河南息县的浸出物分别为 8.49% ,7.65% , 低于 2015 年版《中国药典》要求的 9.0% ;总酸以琥珀酸计,含量均超过 2015 年版《中国药典》0.25% 的标准,其中, A1 甘肃西河的总酸质量分数最低 0.26% ,A11 山东菏泽的总酸含量最高 0.56% 。各种质资源浸出物的 RSD 为 27.9% ,总酸含量的 RSD 为 31.9% ,可见不同种质资源的浸出物和总酸含量存在显著性差异。

3.4 多指标综合评价 综合评价时将各指标列分为成分指标、效益指标和性状指标 3 个子数列,每个数列分别进行初值化处理,得初值化后的标准数据见表 9。采用 2.4.2 项下公式(1)计算出各指标的关联系数,见表 10,再根据 2.4.1 项下层次分析法确定的各指标的权重,采用 2.4.2 项下的公式(2)分别计算出成分指标,效率指标和性状指标关联值,再采用 2.4.2 项下的公式(3)计算出综合关联值,见表 11。

结果表明,从成分指标来看,A2 四川南充的关联值最高,达到 0.939 0,其次是 A14 湖北天门的为 0.905 9,其余种源的关联值 0.831 7 ~ 0.892 5,

表 8 各半夏种质资源检查及测定

Table 8 Results of inspection and determination of *Pinellia ternata* germplasm resources

编号	水分	总灰分	浸出物	总酸
A1	8.62	2.65	11.80	0.26
A2	9.15	2.77	9.43	0.51
A3	9.06	2.73	10.22	0.36
A4	8.22	1.99	13.24	0.28
A5	8.40	2.47	8.49	0.34
A6	7.52	3.13	13.56	0.39
A7	9.7	1.88	12.49	0.33
A8	8.89	2.77	14.74	0.32
A9	10.55	2.75	12.45	0.36
A10	7.64	2.77	11.76	0.41
A11	9.94	2.39	11.62	0.36
A12	9.18	2.29	7.65	0.34
A13	8.34	2.98	10.73	0.39
A14	8.84	2.86	12.11	0.43
A15	8.55	2.77	13.92	0.35

表 9 半夏各指标初值化后的标准数据

Table 9 Standard data after initial value of each indicator of *Pinellia ternata*

编号	成分因子				效率因子			性状因子		
	水分	灰分	浸出物	总酸	收获指数	667 m ² 产量	折干率	商品率	腐烂率	畸形度
参考模式序列	0.71	0.60	1.93	1.96	8.73	6.32	1.68	3.78	0.01	0.06
A1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
A2	1.06	1.18	0.80	1.96	0.35	0.68	0.92	2.10	1.63	0.53
A3	1.05	1.16	0.87	1.38	1.39	2.12	1.28	1.78	0.43	2.57
A4	0.95	0.85	1.12	1.08	1.37	1.00	1.00	0.63	0.06	0.24
A5	0.97	1.05	0.72	1.31	2.22	3.42	0.86	1.56	0.24	2.85
A6	0.87	1.33	1.15	1.50	2.35	4.32	1.12	2.29	0.02	2.91
A7	1.13	0.80	1.06	1.27	1.44	3.59	1.44	1.40	0.05	2.27
A8	1.03	1.18	1.25	1.23	2.22	2.19	1.37	1.23	0.03	4.32
A9	1.22	1.17	1.06	1.38	2.58	2.11	1.07	1.35	0.04	3.68
A10	1.12	1.18	1.00	1.58	1.26	1.35	0.93	1.40	0.25	1.67
A11	1.15	1.02	0.98	1.38	0.72	1.70	1.04	0.87	0.06	2.56
A12	1.06	0.97	0.65	1.31	1.42	2.44	1.26	1.38	0.18	1.51
A13	1.03	1.27	0.91	1.50	0.30	1.08	0.85	1.61	0.11	0.68
A14	0.94	1.22	1.03	1.65	0.96	3.89	1.15	2.25	0.23	2.89
A15	0.99	1.18	1.18	1.35	1.25	3.83	1.37	2.38	0.04	4.31

说明 A2 四川南充与 A14 湖北天门的种源在成分因子上优于其他地区种源;就效率因子而言,15 个试

验资源中,效率关联值最高的是 A6 贵州威宁,其关联值为 0.587 1,其次是 A15 贵州赫章,关联值为

表 10 半夏各指标灰关联系数和权重

Table 10 Grey correlation coefficient and weight of each indicator of *Pinellia ternata*

编号	成分因子				效率因子			性状因子		
	水分	灰分	浸出物	总酸	收获指数	667 m ² 产量	折干率	商品率	腐烂率	畸形度
权重	0.079 0	0.052 8	0.236 2	0.631 9	0.428 6	0.428 6	0.142 9	0.249 3	0.593 6	0.157 1
A1	0.936 3	0.913 5	0.819 9	0.814 4	0.353 1	0.442 2	0.860 6	0.602 6	0.810 2	0.817 1
A2	0.923 7	0.879 5	0.789 1	1.000 0	0.335 0	0.428 0	0.846 7	0.714 6	0.722 2	0.898 3
A3	0.925 8	0.882 6	0.799 1	0.879 7	0.365 1	0.501 2	0.912 9	0.678 7	0.909 9	0.626 3
A4	0.946 0	0.944 9	0.839 8	0.826 7	0.364 4	0.442 2	0.860 6	0.572 4	0.989 7	0.958 1
A5	0.941 6	0.903 6	0.777 5	0.865 8	0.393 4	0.592 8	0.836 1	0.655 1	0.948 4	0.601 3
A6	0.963 6	0.852 3	0.844 4	0.901 4	0.398 2	0.677 8	0.881 6	0.738 5	0.998 3	0.596 8
A7	0.911 0	0.954 9	0.829 3	0.859 1	0.366 6	0.606 6	0.944 5	0.638 8	0.991 4	0.656 2
A8	0.929 8	0.879 5	0.861 6	0.852 4	0.393 2	0.505 4	0.930 5	0.622 8	0.995 1	0.497 4
A9	0.892 0	0.881 1	0.828 8	0.879 7	0.407 1	0.500 3	0.873 7	0.634 8	0.992 7	0.538 0
A10	0.912 3	0.879 5	0.819 4	0.916 5	0.361 1	0.459 3	0.848 7	0.638 7	0.947 1	0.723 7
A11	0.905 5	0.910 2	0.817 5	0.879 7	0.345 1	0.477 2	0.867 8	0.591 8	0.987 6	0.627 6
A12	0.923 0	0.918 6	0.767 5	0.865 8	0.366 1	0.520 9	0.908 1	0.636 8	0.962 4	0.744 1
A13	0.931 0	0.863 4	0.805 7	0.901 4	0.333 5	0.445 7	0.835 5	0.660 2	0.977 4	0.871 1
A14	0.948 0	0.872 6	0.824 1	0.932 0	0.352 0	0.634 5	0.888 6	0.733 2	0.951 4	0.597 9
A15	0.938 0	0.879 5	0.849 6	0.872 7	0.360 6	0.628 4	0.931 3	0.750 8	0.992 8	0.498 2

表 11 半夏不同种源引种栽培的综合评价

Table 11 Evaluation results of introduction and cultivation of *Pinellia ternata* from different provenances

编号	成分因子 关联值	成分排序	效率因子 关联值	效率排序	性状因子 关联值	性状排序	综合关 联值	综合排序
权重	0.461 5	0.461 5	0.076 9					
A1	0.831 7	15	0.463 8	13	0.759 5	14	0.656 4	14
A2	0.939 0	1	0.447 9	15	0.747 9	15	0.697 7	8
A3	0.865 7	9	0.501 7	9	0.807 7	13	0.693 3	10
A4	0.846 5	14	0.468 6	12	0.880 7	2	0.674 7	13
A5	0.854 1	12	0.542 1	5	0.820 8	12	0.707 6	5
A6	0.891 6	4	0.587 1	1	0.870 5	3	0.749 4	1
A7	0.862 2	11	0.552 0	3	0.850 9	5	0.718 2	4
A8	0.863 4	10	0.518 0	6	0.824 1	11	0.701 0	7
A9	0.870 0	7	0.513 7	7	0.832 1	10	0.702 6	6
A10	0.892 5	3	0.472 8	11	0.835 1	8	0.694 4	9
A11	0.869 8	8	0.476 3	10	0.832 4	9	0.685 3	11
A12	0.851 0	13	0.509 9	8	0.846 9	6	0.693 3	10
A13	0.880 4	5	0.453 3	14	0.881 6	1	0.683 4	12
A14	0.905 9	2	0.549 7	4	0.841 5	7	0.736 6	2
A15	0.874 0	6	0.556 9	2	0.854 8	4	0.726 2	3

0.556 9,效率关联值最低的是 A2 四川南充,关联值为 0.447 9,可见 A2 四川南充种源与其他种源相比

处于劣势;从性状因子看,北方地区种源的关联值位居前二,其关联值介于 0.881 6 ~ 0.870 5,而 A2 四

川南充的关联值最低,仅为 0.747 9。

综合成分指标、效率指标和性状指标,得到不同半夏种质资源的综合关联值,并根据综合关联值进行优劣排序比较,从而优选出适宜赫章县河镇乡种植的种质资源。由表 11 可见,15 个种质资源的综合关联值排序为 A6 > A14 > A15 > A7 > A5 > A9 > A8 > A2 > A10 > A3 = A12 > A11 > A13 > A4 > A1,其中最高的是 A6 贵州威宁,其综合关联值为 0.749 4;除 A5 湖北襄阳的浸出物不达标外,A14 湖北天门,A15 贵州赫章和 A7 湖南湘西种源的综合关联值较高,其综合关联值均 > 0.71。可见,A6 可作为贵州省赫章县河镇乡半夏引种的优质种源区进行引种研究,A14 湖北天门,A15 贵州赫章和 A7 湖南湘西可作为优势种源引种区域的有益补充进行引种试验研究。

4 讨论

在中药材生产加工、饮片炮制、市场购销等流通环节中,中药的外观性状对品质划分具有重要的地位。就商品半夏而言,半夏块茎大小、畸形,有效成分含量等是半夏药材等级划分一个重要的特征属性,也是商品半夏质量优劣初步筛查的基础手段,在商品半夏流通环节中具有很强的实用价值。但是,在半夏种质资源筛选中,历来多以定量描述为主^[8-9],如产量、浸出物、总酸含量等,使得外观性状这一重要的特征在种源筛选过程中没有发挥其相应的价值。

在半夏生产实践中,不但需要保证原料药材的有效成分含量高于 2015 年版《中国药典》标准,还希望其具有最佳的外观性状(如块茎大小、畸形度等),并尽可能提高商品半夏的生产效率(如增加产量、提高折干率等)和成分因子(如浸出物、总酸含量等)。在多重因素间的相互影响下,仅靠单一的成分指标或效率指标的比较难以得出客观的结果,只有将影响商品半夏生产的外观性状、生产效率和成分因子统一综合考虑,并根据实际情况给各指标因素进行科学的赋权,才能通过综合比较优选出最佳的半夏种质资源^[21]。

在本研究中,15 个不同种质资源的畸形度、腐烂率、浸出物、亩产量等都表现出较大的差异,对畸形度而言,河北保定种质资源的畸形度最低为 0.18%,其商品半夏的外观形状比其他种质资源的优,但其总酸含量和产量比其他种质资源低,故未能作为优质种源。若只对单一指标进行差异性比较难以反映实际情况,因此,综合外观性状、生产效率和

成分因子等 3 方面的因素进行评价,能全面反映各指标之间的关联性,对指导生产更具有其不可替代性。本实验通过综合关联值的大小得到贵州威宁的种质资源为最佳的种源,湖北天门、贵州赫章和湖南湘西的种质资源可作为优势种源的有益补充。可见,南方种质居群较适宜南方引种栽培,与现已报告的研究结果相似^[22],且不同栽培环境对同一种质资源的品质成分与生产效率具有一定的差异性^[9]。本研究通过对不同半夏种质资源的综合评价,以筛选出适合本地区栽培的种质资源,为本地区半夏规模化生产提供参考依据。

此外,本课题还需要对初步筛选出的优势种源进行连续的引种观察,并加大对种源引种区域的考察,以期筛选出适合赫章县河镇乡栽培的半夏优质种源;在半夏种质资源引种的过程中,应加强对半夏种源质量标准体系的建立,减小由种源质量差异性带来的引种试验误差。

[参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:119.
- [2] 阮培均,梅艳,王孝华,等. 道地特色中药材半夏的规范化种植技术示范[J]. 贵州农业科学,2010,38(5): 49-53.
- [3] 张皓,何腾兵,林昌虎,等. 不同轮作方式黔产半夏土壤物理性状分析[J]. 水土保持研究,2015,22(3): 127-131,136.
- [4] 王孝华,阮培均,张俊,等. 喀斯特温和气候区半夏适宜播种期研究[J]. 中国现代中药,2011,13(2): 20-22.
- [5] 阮培均,董恩省,梅艳,等. 栽培措施对半夏产量及质量的影响[J]. 贵州农业科学,2012,40(10):54-57.
- [6] 魏淑红,彭正松. 半夏群体性状变异类型研究[J]. 江苏农业科学,2004,32(4):37-39.
- [7] 马开森,丁季春,钟国跃,等. 不同来源地的半夏种源对比栽培试验[J]. 中国中药杂志,2004,29(2): 184-185.
- [8] 张君毅,郭巧生,卫新荣,等. 半夏不同居群主要经济性状比较研究[J]. 中国中药杂志,2007,32(12): 1145-1148.
- [9] 马小军,杜娟,李西文,等. 南北方半夏居群相互引种的比较研究[J]. 中国药学杂志,2006,41(24): 1858-1860.
- [10] 刘海,王沁,杨倩,等. 不同半夏种质农艺性状分析[J]. 时珍国医国药,2013,24(10):2517-2519.
- [11] 李锐华,孙增涛,王永香,等. 运用 AHP 结合熵权法优

- 化疏风定喘颗粒炙麻黄组的醇沉工艺[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(20): 1-5.
- [12] 王焱, 李天娇, 孟宪生, 等. 基于灰色关联度的旋覆花黄酮类有机成分与无机成分分析[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(7): 69-74.
- [13] 吕伟奇, 张霁, 左智天, 等. 基于灰色关联度分析法的滇龙胆质量评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(13): 66-73.
- [14] 陈佳丽, 谈梦霞, 邹立思, 等. 不同加工竹节参中多元活性成分同时测定及灰色关联度分析[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(21): 4274-4282.
- [15] 王兵, 李敏, 卢道会, 等. 电位滴定法测定不同居群半夏中总酸的含量[J]. 中药与临床, 2010, 1(2): 15-17.
- [16] 虞晓芬, 傅玳. 多指标综合评价方法综述[J]. 统计与决策, 2004, 179(11): 119-121.
- [17] 任爱农, 卢爱玲, 田耀洲, 等. 层次分析法用于中药复方提取工艺的多指标权重研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(4): 372-374.
- [18] 肖新平, 宋中民, 李峰. 灰技术基础及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 26-38.
- [19] 邱东. 多指标综合评价方法的系统分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1991: 179-225.
- [20] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 76-103.
- [21] 罗文敏, 张家春, 刘燕, 等. 多指标综合评价法优选黔产太子参最佳初加工方法[J]. 中药材, 2018, 41(6): 1335-1342.
- [22] 王彩云, 侯俊, 王永, 等. 黔西北优质半夏种源筛选[J]. 北方园艺, 2019, 43(7): 127-132.

[责任编辑 顾雪竹]