

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2018.10073

李爱民, 吕敏丽, 周春鸣. 同质园栽培下的湖南鱼腥草居群叶表型性状多样性分析[J]. 植物科学学报, 2018, 36(1): 73-85

Li AM, Lü ML, Zhou CM. Phenotypic diversity analysis of leaf traits in cultivated *Houttuynia cordata* Thunb. populations from Hunan Province[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(1): 73-85

同质园栽培下的湖南鱼腥草居群叶表型性状多样性分析

李爱民^{1,2*}, 吕敏丽³, 周春鸣³

(1. 怀化学院民族药用植物资源研究与利用湖南省重点实验室, 湖南怀化 418008;

2. 怀化学院教育科学学院, 湖南怀化 418008; 3. 怀化学院化学与材料工程学院, 湖南怀化 418008)

摘要: 将采自湖南的 20 个鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb.)居群栽培于同质园内, 通过测定 9 个叶片表型性状和 6 个叶片相对性状, 采用方差分析、变异系数、相关性分析、主成分分析以及聚类分析等方法, 对鱼腥草居群叶片形态的变异特征进行研究。结果表明: (1)同质园栽培的 20 个鱼腥草居群叶片 15 个表型性状均存在显著差异, 居群间差异大于居群内差异; (2)居群内叶性状的平均变异系数变化幅度为 5.63% ~ 9.08%, 说明居群内多样性程度较低, 其中株洲攸县居群(P16)变异系数最高(9.08%), 怀化溆浦居群(P3)变异系数最小(5.63%); (3)15 个叶性状的平均变异系数变化幅度为 3.71% ~ 10.28%, 说明各性状的多样性程度也较低, 其中叶面积变异系数最大(10.28%), 叶宽与叶中部宽之比(W_2/W_4)的变异系数最小(3.71%); (4)相关性分析显示, 叶面积与叶宽、叶中部宽、叶长、叶基至叶宽处的距离、叶柄长都呈现出显著正相关, 与叶尖夹角呈显著负相关, 而与叶基夹角关系不大; (5)叶片 15 个性状中前 3 个主成分的贡献率为 83.66%, 聚类分析可将 20 个居群划分为心形、小心形、狭心形和大心形 4 类, 呈现出间断分布的地理格局; (6)同质园实验说明叶表型性状多样性主要是由遗传物质决定的, 对其多样性分析能为优良种质资源的选育提供理论依据。

关键词: 鱼腥草; 同质园实验; 叶片; 表型多样性; 聚类分析

中图分类号: Q949.732.2

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2018)01-0073-13

Phenotypic diversity analysis of leaf traits in cultivated *Houttuynia cordata* Thunb. populations from Hunan Province

Li Ai-Min^{1,2*}, Lü Min-Li³, Zhou Chun-Ming³

(1. Key Laboratory of Research and Utilization of Ethnomedicinal Plant Resources of Hunan Province, Huaihua University, Huaihua, Huaihua 418008, China; 2. College of Educational Science, Huaihua University, Huaihua, Huaihua 418008, China; 3. College of Chemical and Material Engineering, Huaihua University, Huaihua, Huaihua 418008, China)

Abstract: We studied the phenotypic diversity of leaf traits in cultivated *Houttuynia cordata* Thunb. populations from Hunan Province, China. Nine phenotypic traits and six relative traits of leaves were determined. Variance analysis, coefficient of variation, correlation analysis, principal component analysis (PCA), and cluster analysis were used to study the variation of leaf morphology. Results showed that: (1) There were significant differences in leaf phenotypic characters of the 20 *H. cordata* populations, and the differences among populations were greater than those within populations; (2) The average coefficients of variation for the 20 populations ranged from 5.63% to 9.08%, indicating low diversity among populations. The Youxian population (P16) had the highest coefficient of variation (9.08%),

收稿日期: 2017-07-12, 退修日期: 2017-07-31。

基金项目: 湖南省高校创新平台开放基金项目(14K074); 湖南省高校“十二五”重点建设学科项目(ZWX2016-06)。

This work was supported by grants from the Innovation Platform Open Fund in Higher Educational Institutions of Hunan Province (14K074) and Foundation of Hunan Key Discipline Construction Projects (ZWX2016-06).

作者简介: 李爱民(1968-), 男, 博士, 副教授, 主要从事植物学教学与研究。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: liaimin111@163.com)。

whereas the Xupu population (P3) had the lowest coefficient of variation (5.63%); (3) The average coefficients of variation for the 15 traits ranged from 3.71% to 10.28%, indicating that leaf trait diversity was low. The coefficient of variation for leaf area was the largest (10.28%) among the leaf characters, whereas the leaf width to leaf middle width ratio (W_2/W_4) was the smallest (3.71%); (4) Correlation analysis showed that leaf area had a significant positive correlation with leaf width, leaf middle width, leaf length, distance from leaf base to leaf width, and petiole length, a significant negative correlation with leaf tip angle, and no particular relationship with leaf base angle; (5) The cumulative contribution rate of the first three principal components for the 15 characters was 83.66%. By cluster analysis, the 20 populations could be clustered into four groups: heart-shaped, small heart-shaped, narrow heart-shaped, and large heart-shaped. These cluster results showed a discontinuous distribution pattern; (6) The common garden experiment showed that the diversity of leaf phenotypic traits was mainly determined by genetic material, and the diversity analyses could provide a theoretical basis for the breeding of excellent germplasm resources.

Key words: *Houttuynia cordata*; Common garden experiment; Leaf; Phenotypic diversity; Cluster analysis

植物表型多样性是遗传物质与所处环境相互作用的结果,使种群在不同分布区的压力选择中发生不可逆变异,并经稳定遗传产生表型变异,表型变异在适应与进化上具有重要意义^[1-3]。研究表型变异格局及其与环境因子的关系,不仅有助于了解植物适应环境因子变化的可塑性,同时也可以揭示遗传因素和环境因素在植物生态适应中的相互作用^[4]。叶片是植物光合作用和呼吸作用的主要器官,在植物进化过程中对环境变化比较敏感且可塑性较大,环境变化常导致叶形、叶表面特征、叶片厚度及内部解剖特征发生变化^[5-7]。前人已对叶片长度、叶片宽度、叶片面积等性状在不同纬度^[8]、不同海拔^[9,10]及多种环境因子下的多样性特征进行了研究。以往的研究大多以分析各种源间表型性状的差异程度为主,便于利用其进行分类和选择优良性状的遗传材料^[1,2,11,12]。由于这种分析是建立在植物原产地的环境条件与遗传物质共同作用的基础之上,引种栽培后所选择的优良性状变异程度仍然很大^[13],因此其应用价值有一定的局限性。将不同生境居群的个体或不同物种引种栽培在环境因素相对一致的同一园地内,统一进行栽培管理,保持其生境一致性,称为同质园实验^[14,15]。同质园实验能将环境因素对表型变异的影响排除而单独考察遗传因素的影响,表现出的形态差异主要来源于遗传分化,从而能从遗传物质方面选择优良性状。

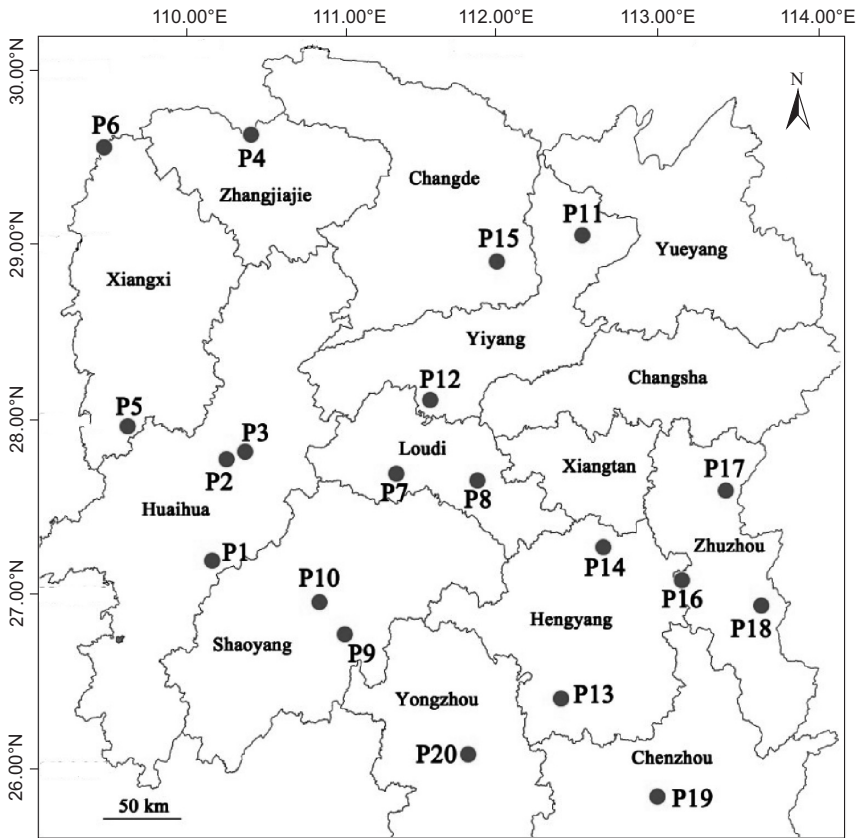
鱼腥草(*Houttuynia cordata* Thunb.)又名侧耳

根、蕺菜、折耳菜,为三白草科蕺菜属多年生草本植物。常生长在背阴山坡、村边田埂、河畔溪边及湿地草丛中。鱼腥草全株不仅有清热解毒、消痈排脓、利尿通淋的功能^[16],近年来还发现其具有抗病毒^[17]、抗氧化^[18]、抗癌^[19]和提高机体非特异性免疫能力^[20,21]等多种功效。此外,鱼腥草还是人们喜爱的野生蔬菜,是卫生部确立的药食同源植物,极具开发潜力^[22]。鱼腥草分布广泛,特别是在我国中部至西南部各省区常见。在不同的生境下,鱼腥草的性状也体现出一定的差异^[23],但这种差异是否稳定尚不明确。本文将湖南鱼腥草居群引种到同质园内,研究其叶片性状的多样性,探讨遗传物质在相同环境下的不同表现,以期对鱼腥草优良种源的选择、评价及物种多样性保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2006年5月至9月,在湖南省内20个不同地点采集野生鱼腥草(图1),采集点地理位置及生境见表1。将采集的鱼腥草种植于怀化学院鱼腥草种质园内(27°34'26.9"N, 110°1'34.5"E),种质园为平地,周围无高大建筑物,全日照。按1 m × 1 m × 0.5 m(长 × 宽 × 深)的尺寸挖种植穴,种植穴四周及底部用水泥隔断。穴内种植土统一用黄土与沙按质量比4:1混合,一个居群种一穴。人工定期



P1: 怀化洪江; P2: 怀化辰溪; P3: 怀化溆浦; P4: 张家界桑植; P5: 湘西凤凰; P6: 湘西龙山; P7: 娄底新化; P8: 娄底涟源; P9: 邵阳新宁; P10: 邵阳洞口; P11: 益阳沅江; P12: 益阳安化; P13: 衡阳常宁; P14: 衡阳南岳; P15: 常德汉寿; P16: 株洲攸县; P17: 株洲醴陵; P18: 株洲茶陵; P19: 郴州苏仙; P20: 永州双牌。下同。
P1: Hongjiang, Huaihua; P2: Chenxi, Huaihua; P3: Xupu, Huaihua; P4: Sangzhi, Zhangjiajie; P5: Fenghuang, Xiangxi; P6: Longshan, Xiangxi; P7: Xinhua, Loudi; P8: Lianyuan, Loudi; P9: Xinning, Shaoyang; P10: Dongkou, Shaoyang; P11: Yuanjiang, Shaoyang; P12: Anhua, Yiyang; P13: Changning, Hengyang; P14: Nanyue, Hengyang; P15: Hanshou, Changde; P16: Youxian, Zhuzhou; P17: Liling, Zhuzhou; P18: Chaling, Zhuzhou; P19: Suxian, Chenzhou; P20: Shuangpai, Yongzhou. Same below.

图 1 鱼腥草采样点的地理位置

Fig. 1 Location of sampling points of *Houttuynia cordata* from Hunan Province

除草及浇水，保持土壤湿润，以利于鱼腥草正常生长。

2016 年 7 月，每个居群随机选取生长一致的 5 株鱼腥草，每株采摘 1 片位于中部发育正常的健康叶片，20 个居群共采集 100 个单株。

1.2 实验方法

1.2.1 叶表型性状的测量

根据鱼腥草叶片的特征，测量：叶片长度 (L_1)、叶片宽度 (W_2)、叶最宽处至叶基部的长度 (L_3)、叶中部宽(叶长 1/2 处宽度, W_4)、叶柄长 (L_5)、叶尖夹角 (TA)、叶基夹角 (BA)、叶面积 (LA) 及叶厚度 (LT) 等 9 个性状 (图 2)。然后以得到的数据计算 6 个相对指标^[24,25]：(1) L_1/W_2 ；(2) L_5/L_1 ；(3) L_3/L_1 ；(4) W_2/W_4 ；(5) L_1/LA ；

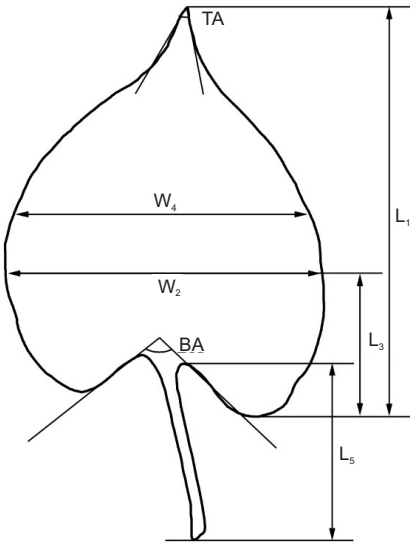
(6) W_2/LA 。除叶片厚度直接用数显游标卡尺 (110-801-30A, 分辨率 0.01 mm, 桂林广陆数字测控股份有限公司) 测量外，其他性状测量参考李任辉等^[26]的方法。将叶片放在标尺旁，置于白纸上，垂直于叶片上方居中拍照，在 Photoshop 软件中处理图片、测量数据。

1.2.2 数据分析

所有数据用 Excel 2007 及 SPSS 19.0 计算平均值、均方、标准差、 F 值和显著水平。用变异系数 (coefficient of variation, CV) 表示各性状间的离散程度，反映表型的变异特征^[3]。在 SPSS 19.0 中运用 One-way ANOVA 进行 Duncan's 显著性分析 (HSD)、Pearson 相关性分析和主成分分析^[27]，并对各居群进行 UPGMA 聚类分析^[28]。

表 1 鱼腥草采集点地理信息
Table 1 Location and habitat characteristics of the sampling points of *Houttuynia cordata*

居群 Population	采集点 Location	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	生境 Habitat
P1	怀化市洪江市熟平乡 Shuping Township, Hongjiang County, Huaihua City	27°11'41.6"	110°9'46.8"	路边草地 Roadside grassland
P2	怀化市辰溪县长田湾乡 Changtianwan Township, Chenxi County, Huaihua City	27°46'42.8"	110°15'35.9"	沟谷林下 Ravine, under forest
P3	怀化市溆浦县江口乡 Jiangkou Township, Xupu County, Huaihua City	27°49'33.8"	110°22'37.7"	溪旁林下 Next to brooklet, under forest
P4	张家界市桑植县官地坪镇 Guandiping Town, Sangzhi County, Zhangjiajie City	29°37'52.4"	110°25'10.3"	林缘草地 Forest edge
P5	湘西土家族苗族自治州凤凰县沱江镇 Tuojiang Town, Fenghuang County, Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture	27°58'20.6"	109°36'53.8"	山坡草地 Hillside grassland
P6	湘西自治州龙山县石羔镇 Shigao Town, Longshan County, Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture	29°33'33.2"	109°27'44.5"	林缘草地 Forest edge
P7	娄底市新化县上梅镇 Shangmei Town, Xinhua County, Loudi City	27°41'59.5"	111°21'47.4"	溪边林缘 Next to brooklet, forest edge
P8	娄底市涟源市水洞底镇 Shuidongdi Town, Lianyuan County-level City, Loudi City	27°39'35.7"	111°53'22.5"	溪边草地 Next to brooklet, grassland
P9	邵阳市新宁县马头桥镇 Matouqiao Town, Xinning County, Shaoyang City	26°46'11.9"	111°1'47.2"	路边草地 Roadside grassland
P10	邵阳市洞口县杨林乡 Yanglin Township, Dongkou County, Shaoyang City	26°57'31.6"	110°51'40.0"	林下草地 Under forest, grassland
P11	益阳市沅江市阳罗洲镇 Yangluozhou Town, Yuanjiang County-level City, Yiyang City	29°3'48.1"	112°34'23.6"	溪边草地 Next to brooklet, grassland
P12	益阳市安化县乐安镇 Lean Town, Anhua County, Yiyang City	28°7'19.1"	111°35'0.1"	山坡草地 Hillside grassland
P13	衡阳市常宁市宜潭乡 Yitan Township, Changning County-level City, Hengyang City	26°23'48.8"	112°26'12.1"	林下草地 Under forest, grassland
P14	衡阳市南岳区南岳镇 Nanyue Town, Nanyue District, Hengyang City	27°16'23.7"	112°42'36.9"	林下草地 Under forest, grassland
P15	常德市汉寿县周文庙乡 Zhouwenmiao Township, Hanshou County, Changde City	28°54'50.4"	112°0'52.4"	沟边草地 Ravine side grassland
P16	株洲市攸县桃水镇 Taoshui Town, Youxian County, Zhuzhou City	27°4'58.2"	113°13'13.6"	路边草地 Roadside grassland
P17	株洲市醴陵市孙家湾乡 Sunjiawan Township, Liling County-level City, Zhuzhou City	27°36'0.3"	113°30'18.5"	沟边草地 Ravine side grassland
P18	株洲市茶陵县火田镇 Huotian Town, Chaling County, Zhuzhou City	26°56'16.6"	113°44'14.9"	林缘草地 Forest edge
P19	郴州市苏仙区苏仙岭风景区 Suxianling Scenic Area, Suxian District, Chenzhou City	25°49'23.7"	113°3'33.2"	林下草地 Under forest, grassland
P20	永州市双牌县茶林镇 Chalin Town, Shuangpai County, Yongzhou City	26°4'18.0"	111°49'54.6"	路边草丛 Roadside grassland



L₁: 叶长; W₂: 叶宽; L₃: 叶片基部至叶最宽处的垂直距离; W₄: 叶中部宽(叶长 1/2 处宽度); L₅: 叶柄长; TA: 叶尖夹角; BA: 叶基夹角。
L₁: Leaf length; W₂: Leaf width; L₃: Vertical distance from leaf base to widest point of leaf; W₄: Leaf middle width; L₅: Petiole length; TA: Leaf tip angle; BA: Leaf base angle.

图 2 鱼腥草叶片测量指标示意图
Fig. 2 Schematic diagram of *H. cordata* leaf measurements

2 结果与分析

2.1 鱼腥草不同居群的叶片性状特征

鱼腥草叶片 15 个检测指标在 20 个居群间均存在着极显著差异性 ($P < 0.01$), 但居群内仅叶长 (L_1)、叶基夹角 (BA)、 L_3/L_1 、 W_2/W_4 4 项指标具极显著差异, 其余指标差异不显著 (表 2)。叶的表型性状中 (表 3), 叶长 (L_1) 最大的是益阳安化居群 (P12), 平均达到 8.15 cm。叶宽 (W_2)、叶中部宽 (W_4)、叶柄长 (L_5) 最大的均是邵阳新宁居群 (P9), 平均分别达到 6.46、6.22、3.97 cm。叶面积 (LA) 最大的是衡阳常宁居群 (P9), 平均达到 30.84 cm²。叶基夹角 (BA) 最大的是怀化辰溪居群 (P2), 平均为 142.22°。叶尖夹角 (TA) 最大的是永州双牌居群 (P20), 平均为 84.54°。叶厚度 (LT) 最大的是益阳安化居群 (P12) 和常德汉寿居群 (P15), 均为 0.23 mm。表型相对性状中 (表 4), 叶长与叶宽的比值 (L_1/W_2) 最大的是湘西凤凰居群 (P5), 叶柄与叶长的比值 (L_5/L_1) 最大的是永州双牌居群 (P20)。

表 2 鱼腥草居群间和居群内叶片性状变异的方差分析
Table 2 Variance analysis of phenotypic traits of leaves among and within *H. cordata* populations

性状 Trait	均方 Mean square (MS)			F 值 F value	
	居群间 Among populations	居群内 Within population	随机误差 Random error	居群间 Among populations	居群内 Within population
L ₁ (cm)	6.0983	0.2316	0.0179	26.3334 **	12.9205 **
W ₂ (cm)	3.7890	0.1908	0.1955	19.8545 **	0.9762
L ₃ (cm)	0.5884	0.0335	0.0247	17.5518 **	1.3580
W ₄ (cm)	3.1896	0.1444	0.1772	22.0937 **	0.8148
L ₅ (cm)	1.4739	0.0749	0.0643	19.6812 **	1.1655
TA (°)	938.5063	29.4201	226.0486	31.9002 **	0.1301
BA (°)	1333.2192	67.0124	9.6351	19.8951 **	6.9550 **
LA (cm ²)	219.6933	5.9857	11.8012	36.7030 **	0.5072
LT (mm)	0.0029	0.0002	0.0001	16.9001 **	1.2508
L ₁ /W ₂	0.0415	0.0049	0.0076	8.3911 **	0.6516
L ₅ /L ₁	0.0408	0.0011	0.0006	37.0882 **	1.8351
L ₃ /L ₁	0.0058	0.0004	0.0001	14.2036 **	3.9525 **
W ₂ /W ₄	0.0087	0.0023	0.0003	3.7317 **	6.6696 **
L ₁ /LA	0.0162	0.0004	0.0007	44.7016 **	0.4918
W ₂ /LA	0.0108	0.0003	0.0004	38.3789 **	0.7078

注：性状缩写见图 2；**， $P < 0.01$ 。
Notes: Abbreviations of traits see Fig. 2; **, $P < 0.01$.

表 3 叶表型性状特征分析
Table 3 Leaf phenotypic traits of *H. cordata* populations

居群 Populations	L ₁ (cm)	W ₂ (cm)	L ₃ (cm)	W ₄ (cm)	L ₅ (cm)	TA(°)	BA(°)	LA(cm ²)	LT(mm)
P1	6.50 ± 0.40 ^{cdef}	5.21 ± 0.44 ^{cdefg}	1.67 ± 0.21 ^{ghij}	4.37 ± 0.21 ^{def}	2.46 ± 0.26 ^{deigh}	35.07 ± 3.31 ^{ij}	115.87 ± 2.87 ^{cdef}	19.30 ± 1.70 ^{ghi}	0.20 ± 0.02 ^{bcd}
P2	6.97 ± 0.28 ^{bcd}	5.59 ± 0.38 ^{abcde}	1.59 ± 0.15 ^{ghijk}	4.74 ± 0.35 ^{cde}	3.35 ± 0.21 ^{ab}	45.93 ± 1.77 ^{efghi}	142.22 ± 3.77 ^a	25.17 ± 2.23 ^{bcd}	0.13 ± 0.01 ^g
P3	5.51 ± 0.26 ^f	4.51 ± 0.19 ^{gh}	1.41 ± 0.08 ^{hijk}	4.00 ± 0.25 ^{efgh}	2.39 ± 0.16 ^{deigh}	37.50 ± 3.18 ^{ij}	117.58 ± 5.88 ^{bcd}	15.06 ± 1.22 ^{ij}	0.18 ± 0.01 ^{cde}
P4	7.88 ± 0.36 ^{ab}	6.25 ± 0.44 ^{ab}	2.26 ± 0.19 ^{ab}	5.47 ± 0.45 ^{abc}	2.91 ± 0.27 ^{bcd}	44.19 ± 3.64 ^{ghi}	111.64 ± 4.85 ^{cdefg}	30.44 ± 3.59 ^{ab}	0.19 ± 0.01 ^{cd}
P5	6.11 ± 0.31 ^{ef}	4.26 ± 0.31 ^{ghi}	2.09 ± 0.17 ^{abcde}	3.66 ± 0.29 ^{gh}	1.93 ± 0.16 ^h	39.47 ± 2.73 ^{ghij}	72.43 ± 6.06 ⁱ	16.16 ± 1.70 ^{hij}	0.19 ± 0.01 ^{cde}
P6	6.53 ± 0.48 ^{cdef}	4.93 ± 0.35 ^{efg}	1.83 ± 0.18 ^{cdeigh}	4.36 ± 0.35 ^{def}	2.48 ± 0.08 ^{deigh}	30.76 ± 3.02 ^l	120.18 ± 5.06 ^{bcd}	20.06 ± 2.39 ^{efghi}	0.18 ± 0.01 ^{cde}
P7	6.15 ± 0.41 ^{ef}	4.35 ± 0.35 ^{ghni}	1.76 ± 0.11 ^{deighi}	3.74 ± 0.33 ^{gh}	2.68 ± 0.16 ^{cdefg}	52.83 ± 5.14 ^{def}	98.51 ± 7.17 ^{gh}	14.77 ± 2.04 ^{ijk}	0.19 ± 0.01 ^{cde}
P8	5.76 ± 0.57 ^f	4.49 ± 0.57 ^{gh}	1.63 ± 0.15 ^{ghij}	4.17 ± 0.35 ^{efg}	1.99 ± 0.25 ^h	69.18 ± 7.59 ^b	91.37 ± 8.51 ^{hi}	17.19 ± 2.03 ^{ghi}	0.17 ± 0.01 ^{def}
P9	7.28 ± 0.72 ^{abcd}	6.46 ± 0.71 ^a	2.44 ± 0.34 ^a	6.22 ± 0.55 ^a	3.97 ± 0.47 ^a	62.76 ± 6.50 ^{bcd}	97.98 ± 6.28 ^{gh}	30.84 ± 3.61 ^a	0.16 ± 0.01 ^{efg}
P10	6.57 ± 0.73 ^{cdef}	5.44 ± 0.53 ^{bcd}	1.68 ± 0.15 ^{efghi}	4.84 ± 0.41 ^{bcd}	2.11 ± 0.23 ^{gh}	51.36 ± 4.92 ^{defg}	104.48 ± 11.92 ^{efgh}	22.20 ± 2.32 ^{cdefg}	0.19 ± 0.02 ^{cde}
P11	7.32 ± 0.76 ^{abcd}	5.87 ± 0.60 ^{abcde}	2.18 ± 0.28 ^{abc}	5.12 ± 0.58 ^{bcd}	2.36 ± 0.20 ^{deigh}	39.55 ± 3.76 ^{ghij}	107.47 ± 3.24 ^{deigh}	26.86 ± 2.60 ^{abcd}	0.20 ± 0.01 ^{bcd}
P12	8.15 ± 0.39 ^a	6.22 ± 0.62 ^{abc}	2.00 ± 0.16 ^{bcd}	5.31 ± 0.59 ^{bc}	3.35 ± 0.53 ^{ab}	38.36 ± 3.00 ^{bij}	111.20 ± 7.05 ^{cdefg}	30.63 ± 4.41 ^{ab}	0.23 ± 0.01 ^a
P13	7.99 ± 0.43 ^{ab}	6.41 ± 0.39 ^{ab}	1.89 ± 0.17 ^{bcd}	5.72 ± 0.25 ^{ab}	3.31 ± 0.43 ^{bc}	42.14 ± 4.03 ^{ghij}	113.82 ± 12.43 ^{cdef}	31.67 ± 2.61 ^a	0.20 ± 0.01 ^{abcd}
P14	4.25 ± 0.41 ^g	3.82 ± 0.11 ^{hi}	1.19 ± 0.09 ^k	3.40 ± 0.15 ^{gh}	2.40 ± 0.29 ^{deigh}	66.33 ± 7.81 ^{bc}	124.74 ± 15.01 ^{abcd}	11.08 ± 1.43 ^{kl}	0.19 ± 0.02 ^{cde}
P15	6.44 ± 0.39 ^{def}	4.92 ± 0.32 ^{efg}	1.71 ± 0.10 ^{efghi}	4.23 ± 0.19 ^{efg}	2.27 ± 0.20 ^{efgh}	57.42 ± 6.85 ^{bcd}	114.52 ± 3.80 ^{cdef}	19.82 ± 1.72 ^{efghi}	0.23 ± 0.01 ^{ab}
P16	7.58 ± 0.75 ^{abc}	5.96 ± 0.65 ^{abcd}	2.08 ± 0.27 ^{abc}	5.14 ± 0.65 ^{bcd}	2.77 ± 0.33 ^{bcd}	38.84 ± 4.48 ^{ghij}	121.32 ± 5.64 ^{bcd}	27.41 ± 3.29 ^{abc}	0.21 ± 0.01 ^{abc}
P17	6.25 ± 0.33 ^{def}	5.18 ± 0.16 ^{defg}	2.14 ± 0.08 ^{abcd}	4.83 ± 0.32 ^{cde}	1.96 ± 0.08 ^h	54.69 ± 4.21 ^{cdef}	93.64 ± 13.85 ^{gh}	21.29 ± 1.45 ^{deigh}	0.19 ± 0.01 ^{cde}
P18	5.77 ± 0.35 ^f	5.00 ± 0.22 ^{defg}	1.38 ± 0.07 ^{kl}	4.23 ± 0.19 ^{efg}	2.85 ± 0.22 ^{bcd}	62.16 ± 8.96 ^{bcd}	136.54 ± 4.10 ^{ab}	21.57 ± 1.55 ^{deigh}	0.18 ± 0.02 ^{de}
P19	6.37 ± 0.52 ^{def}	5.79 ± 0.53 ^{abcde}	1.92 ± 0.26 ^{bcd}	5.23 ± 0.39 ^{bcd}	2.21 ± 0.07 ^{gh}	50.55 ± 4.49 ^{efgh}	128.13 ± 6.76 ^{abc}	23.73 ± 2.94 ^{cdef}	0.18 ± 0.01 ^{de}
P20	4.00 ± 0.18 ^g	3.48 ± 0.09 ^j	1.25 ± 0.14 ^{kl}	3.22 ± 0.13 ^h	2.54 ± 0.31 ^{deigh}	84.54 ± 9.91 ^a	123.73 ± 12.32 ^{abcd}	9.37 ± 0.53 ^k	0.14 ± 0.01 ^{fg}

注：性状缩写见图 2；同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Notes: Abbreviations of traits see Fig. 2; Different letters in the same column mean significant difference at 0.05 level.

表 4 叶表型相对性状特征分析
Table 4 Analysis of relative traits of leaf phenotypes of *H. cordata* populations

居群 Populations	L ₁ /W ₂	L ₅ /L ₁	L ₃ /L ₁	W ₂ /W ₄	L ₁ /LA	W ₂ /LA
P1	1.25 ± 0.08 ^{bcdefg}	0.38 ± 0.02 ^{fgh}	0.26 ± 0.03 ^{cde}	1.19 ± 0.08 ^a	0.34 ± 0.03 ^{def}	0.27 ± 0.03 ^{bcd}
P2	1.25 ± 0.06 ^{cdefg}	0.48 ± 0.03 ^{cde}	0.23 ± 0.02 ^e	1.18 ± 0.01 ^{ab}	0.28 ± 0.02 ^{hi}	0.22 ± 0.00 ^{efgh}
P3	1.22 ± 0.01 ^{cdefg}	0.43 ± 0.04 ^{def}	0.26 ± 0.02 ^{cde}	1.13 ± 0.03 ^{abc}	0.37 ± 0.01 ^{cde}	0.30 ± 0.01 ^b
P4	1.26 ± 0.04 ^{bcdefg}	0.37 ± 0.02 ^{fgh}	0.29 ± 0.01 ^{bcd}	1.14 ± 0.03 ^{abc}	0.26 ± 0.02 ^{hi}	0.21 ± 0.01 ^{gh}
P5	1.44 ± 0.13 ^a	0.32 ± 0.03 ^h	0.34 ± 0.02 ^a	1.16 ± 0.02 ^{ab}	0.38 ± 0.03 ^{bcd}	0.26 ± 0.02 ^{bcd}
P6	1.33 ± 0.02 ^{abc}	0.38 ± 0.02 ^{fgh}	0.28 ± 0.01 ^{bcd}	1.13 ± 0.05 ^{abc}	0.33 ± 0.02 ^{efg}	0.25 ± 0.01 ^{def}
P7	1.42 ± 0.04 ^{ab}	0.44 ± 0.01 ^{def}	0.29 ± 0.01 ^{bcd}	1.16 ± 0.01 ^{ab}	0.42 ± 0.03 ^{ab}	0.30 ± 0.02 ^{bc}
P8	1.29 ± 0.07 ^{abcdef}	0.34 ± 0.01 ^{gh}	0.28 ± 0.02 ^{bcd}	1.08 ± 0.10 ^{bc}	0.34 ± 0.02 ^{defg}	0.26 ± 0.02 ^{cde}
P9	1.13 ± 0.06 ^{fg}	0.55 ± 0.04 ^{bc}	0.34 ± 0.01 ^a	1.04 ± 0.07 ^c	0.24 ± 0.01 ⁱ	0.21 ± 0.00 ^{gh}
P10	1.21 ± 0.12 ^{cdefg}	0.32 ± 0.02 ^h	0.26 ± 0.01 ^{cde}	1.12 ± 0.03 ^{abc}	0.30 ± 0.02 ^{fgh}	0.25 ± 0.01 ^{defg}
P11	1.25 ± 0.05 ^{cdefg}	0.32 ± 0.01 ^h	0.30 ± 0.01 ^{abc}	1.15 ± 0.02 ^{ab}	0.27 ± 0.02 ^{hi}	0.22 ± 0.01 ^{fgh}
P12	1.32 ± 0.07 ^{abcd}	0.41 ± 0.05 ^{efg}	0.25 ± 0.03 ^{de}	1.17 ± 0.04 ^{ab}	0.27 ± 0.03 ^{hi}	0.20 ± 0.01 ^h
P13	1.25 ± 0.01 ^{cdefg}	0.41 ± 0.05 ^{defg}	0.24 ± 0.02 ^{de}	1.12 ± 0.02 ^{abc}	0.25 ± 0.01 ^{hi}	0.20 ± 0.01 ^h
P14	1.11 ± 0.08 ^g	0.56 ± 0.05 ^{ab}	0.28 ± 0.02 ^{bcd}	1.12 ± 0.03 ^{abc}	0.39 ± 0.02 ^{abc}	0.35 ± 0.04 ^a
P15	1.31 ± 0.09 ^{abcde}	0.35 ± 0.02 ^{gh}	0.27 ± 0.02 ^{bcd}	1.17 ± 0.06 ^{ab}	0.33 ± 0.01 ^{efg}	0.25 ± 0.02 ^{def}
P16	1.28 ± 0.11 ^{bcdef}	0.37 ± 0.04 ^{fgh}	0.27 ± 0.02 ^{bcd}	1.16 ± 0.04 ^{ab}	0.28 ± 0.01 ^{hi}	0.22 ± 0.01 ^{fgh}
P17	1.21 ± 0.08 ^{cdefg}	0.31 ± 0.01 ^h	0.34 ± 0.01 ^a	1.08 ± 0.05 ^{bc}	0.29 ± 0.01 ^{gh}	0.24 ± 0.01 ^{defg}
P18	1.15 ± 0.06 ^{defg}	0.50 ± 0.05 ^{bcd}	0.24 ± 0.02 ^{de}	1.18 ± 0.07 ^{ab}	0.27 ± 0.01 ^{hi}	0.23 ± 0.01 ^{defgh}
P19	1.10 ± 0.04 ^g	0.35 ± 0.03 ^{gh}	0.30 ± 0.03 ^{abc}	1.11 ± 0.05 ^{abc}	0.27 ± 0.01 ^{hi}	0.24 ± 0.01 ^{defg}
P20	1.15 ± 0.03 ^{efg}	0.63 ± 0.05 ^a	0.31 ± 0.02 ^{ab}	1.08 ± 0.02 ^{bc}	0.43 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.01 ^a

注：性状缩写见图 2；同列不同字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。
Notes: Abbreviations of traits see Fig. 2; Different letters in the same column mean significant difference at 0.05 level.

2.2 鱼腥草不同居群叶片性状变异幅度

变异系数指标能准确反映性状的变异幅度^[19,20]，变异系数大，则该性状的变异幅度大、多样性高。在 20 个鱼腥草居群的 15 个叶指标中，平均变异系数变化幅度在 3.71% ~ 10.28%之间，其中变异幅度最大的是叶面积(LA, CV = 10.28%)，变异幅度最小的是叶宽与叶中部宽的比值(W₂/W₄, CV = 3.71%)。说明叶面积的多样性程度最高，而叶宽与叶中部宽之比的多样性最低。鱼腥草叶性状的变异系数(表 5)由大到小依次为：LA > TA > L₃ > L₅ > W₄ > W₂ > L₅/L₁ > L₁ > L₃/L₁ > LT > BA > W₂/LA > L₁/LA > L₁/W₂ > W₂/W₄。在不同居群中，各性状的变异幅度也不一样。在 20 个居群中，性状变异幅度最大的是株洲攸县居群(P16, CV = 9.08%)，性状变异幅度最小的是怀化溆浦居群(P3, CV = 5.63%)。说明株洲攸县居群叶性状多样性程度最高，怀化溆浦居群叶性状多样性程度最低。各居群变异幅度由大到小依次为：P16 > P12 > P14 > P8 > P1 > P10 > P9 > P19 > P5 > P13 > P11 > P20 > P18 > P4 > P7 > P15 > P6 > P2 > P17 > P3。

2.3 鱼腥草叶性状间的相关性分析

采用 Pearson 相关性系数对鱼腥草各性状间的相关性进行分析，结果可见 15 组性状间大多表现出显著或极显著相关(表 6)，也有部分性状间没有表现出显著相关性。叶基夹角与叶长、叶宽均无显著相关性，但叶尖夹角与叶长、叶宽有显著相关性。叶长除与叶基夹角和 W₂/W₄的相关性不显著外，与其他 12 个性状均有显著相关。叶面积与叶宽、叶长、叶中部宽、叶基至叶宽处的距离、叶柄长都呈显著正相关，与叶尖夹角呈显著负相关，而与叶基夹角关系不大。

2.4 鱼腥草叶性状的主成分分析及聚类分析

对鱼腥草叶的 9 个性状及 6 个相对性状进行主成分分析，得到 3 个特征值大于 1 的主成分(表 7)。第 1 主成分与叶长、叶面积、叶宽、叶宽/叶面积、叶中部宽、叶长/叶面积、叶片基部至叶最宽处的垂直距离、叶尖夹角显著相关，贡献率为 46.78%。第 2 主成分与叶长/叶宽、叶柄长/叶长、叶基夹角、叶柄长显著相关，贡献率为 20.386%，第 3 主成分与 L3/L1、W2/W4、叶基夹角、L3 显著相关，贡献率为 16.495%。3 个主成分的累积贡献率为 83.66%。

表 5 叶片性状的变异系数 (%)
Table 5 Variation coefficient of leaf traits of *H. cordata* populations

居群 Populations	L ₁	W ₂	L ₃	W ₄	L ₅	TA	BA	LA	LT	L ₁ /W ₂	L ₅ /L ₁	L ₃ /L ₁	W ₂ /W ₄	L ₁ /LA	W ₂ /LA	平均 Average
P1	6.17	8.40	12.49	4.77	10.40	9.43	2.48	8.80	11.24	6.27	4.50	10.17	6.52	10.02	12.58	8.28
P2	4.03	6.77	9.76	7.36	6.14	3.85	2.65	8.85	8.25	4.81	6.77	9.66	0.85	6.93	2.24	5.93
P3	4.69	4.18	5.91	6.34	6.51	8.49	5.00	8.07	7.83	1.19	8.23	6.64	2.78	3.77	4.91	5.63
P4	4.62	7.10	8.30	8.30	9.22	8.23	4.34	11.78	7.78	2.86	5.00	4.78	2.71	7.26	5.41	6.51
P5	5.03	7.34	7.99	7.99	8.52	6.91	8.37	10.50	5.01	8.93	10.01	6.97	1.80	7.80	6.81	7.33
P6	7.31	7.08	9.74	7.99	3.23	9.83	4.21	11.90	5.52	1.88	4.49	2.94	4.82	5.09	5.64	6.11
P7	6.59	7.97	6.15	8.77	5.88	9.73	7.28	13.82	6.18	2.79	1.59	4.19	0.92	7.37	7.03	6.42
P8	9.87	12.67	9.42	8.43	12.81	10.97	9.32	11.83	4.02	5.70	3.62	6.47	9.60	4.84	6.41	8.40
P9	9.91	11.00	13.71	8.91	11.85	10.36	6.41	11.70	8.32	5.33	7.43	4.16	7.12	3.96	2.37	8.17
P10	11.13	9.76	9.12	8.42	10.98	9.59	11.40	10.43	8.08	9.68	7.00	3.66	2.29	6.64	5.28	8.23
P11	10.39	10.29	13.00	11.34	8.40	9.51	3.01	9.69	6.02	3.64	2.52	4.58	1.55	5.54	2.99	6.83
P12	4.76	9.98	8.03	11.10	15.82	7.82	6.34	14.39	3.40	5.37	12.23	10.97	3.40	9.51	5.40	8.57
P13	5.37	6.06	9.17	4.35	12.86	9.56	10.92	8.25	6.42	0.74	11.30	10.47	2.00	4.56	4.37	7.09
P14	9.53	2.94	7.49	4.43	12.13	11.78	12.03	12.92	9.73	7.61	8.25	8.47	2.89	5.36	10.55	8.41
P15	6.06	6.57	6.03	4.61	8.78	11.93	3.32	8.69	2.83	6.70	6.13	6.65	5.05	3.22	6.61	6.21
P16	9.88	10.91	13.13	12.62	12.03	11.54	4.65	12.00	6.63	8.51	11.93	8.00	3.81	4.55	6.00	9.08
P17	5.33	3.08	3.74	6.70	4.13	7.70	14.79	6.79	5.83	6.41	3.58	3.44	4.28	4.14	6.02	5.73
P18	6.11	4.48	5.35	4.41	7.85	14.42	3.00	7.19	8.98	5.17	9.39	7.60	5.54	5.27	3.85	6.57
P19	8.20	9.11	13.58	7.54	3.10	8.88	5.27	12.38	5.44	3.71	9.56	11.19	4.20	3.98	5.42	7.44
P20	4.39	2.51	11.45	4.10	12.35	11.73	9.96	5.61	9.84	2.91	8.15	7.85	2.03	2.94	3.21	6.60
平均 Average	6.97	7.41	9.18	7.42	9.15	9.61	6.74	10.28	6.87	5.01	7.08	6.94	3.71	5.64	5.66	7.18

表 6 鱼腥草叶片性状间的 Pearson 相关性分析
Table 6 Pearson correlation analysis of leaf traits for *H. cordata*

性状 Trait	L ₁	W ₂	L ₃	W ₄	L ₅	TA	BA	LA	LT	L ₁ /W ₂	L ₅ /L ₁	L ₃ /L ₁	W ₂ /W ₄	L ₁ /LA	W ₂ /LA
L ₁	1														
W ₂	0.896**	1													
L ₃	0.744**	0.692**	1												
W ₄	0.828**	0.955**	0.713**	1											
L ₅	0.507**	0.574**	0.259**	0.565**	1										
TA	-0.563**	-0.396**	-0.329**	-0.271**	-0.034	1									
BA	-0.057	0.108	-0.380**	0.033	0.254*	0.085	1								
LA	0.920**	0.962**	0.694**	0.936**	0.603**	-0.384**	0.074	1							
LT	0.396**	0.251*	0.234*	0.182	-0.097	-0.392**	-0.207*	0.250*	1						
L ₁ /W ₂	0.263**	-0.184	0.179	-0.229*	-0.134	-0.377**	-0.430**	-0.056	0.298**	1					
L ₅ /L ₁	-0.436**	-0.269**	-0.447**	-0.219*	0.534**	0.536**	0.373**	-0.261**	-0.454**	-0.409**	1				
L ₃ /L ₁	-0.201*	-0.152	0.494**	-0.033	-0.263**	0.253*	-0.498**	-0.175	-0.151	-0.065	-0.069	1			
W ₂ /W ₄	0.184	0.096	-0.087	-0.198*	0.028	-0.412**	0.206*	0.035	0.209*	0.174	-0.138	-0.372**	1		
L ₁ /LA	-0.714**	-0.860**	-0.536**	-0.863**	-0.452**	0.272**	-0.179	-0.901**	-0.125	0.290**	0.241*	0.160	0.054	1	
W ₂ /LA	-0.864**	-0.793**	-0.643**	-0.775**	-0.410**	0.466**	0.056	-0.890**	-0.260**	-0.208*	0.449**	0.193	-0.032	0.869**	1
纬度 Latitude	0.302	0.074	0.283	-0.003	-0.109	-0.451*	-0.177	0.129	0.343	0.549*	-0.398	-0.021	0.336	-0.033	-0.263
经度 Longitude	-0.093	0.085	0.065	0.114	-0.070	0.406	0.224	0.090	0.166	-0.472*	0.062	0.037	-0.172	-0.249	-0.043
生境 Habitat	0.061	0.096	-0.085	0.076	-0.140	-0.133	0.010	0.103	0.223	-0.090	-0.182	-0.181	0.050	-0.144	-0.093

注：性状缩写见图 2；*，表示在 0.05 水平上显著相关；**，表示在 0.01 水平上显著相关。
Notes: Abbreviations of traits see Fig. 2; *, Means significantly correlated at the 0.05 level; **, Means significantly correlated at the 0.01 level.

表 7 鱼腥草叶表型性状主成分分析
Table 7 Principal component analysis of leaf traits for *H. cordata* populations

性状 Trait	主成分载荷量 Principal component loading		
	主成分 1 PC 1	主成分 2 PC 2	主成分 3 PC 3
L ₁	0.975	-0.107	0.076
W ₂	0.970	0.209	-0.022
L ₃	0.781	-0.230	-0.516
W ₄	0.922	0.286	-0.216
L ₅	0.494	0.621	0.128
TA	-0.593	0.476	-0.372
BA	-0.053	0.644	0.648
LA	0.973	0.202	-0.022
LT	0.373	-0.551	0.266
L ₁ /W ₂	0.125	-0.809	0.161
L ₅ /L ₁	-0.466	0.736	0.075
L ₃ /L ₁	-0.173	-0.212	-0.886
W ₂ /W ₄	0.137	-0.374	0.831
L ₁ /LA	-0.881	-0.342	0.044
W ₂ /LA	-0.961	0.006	-0.009
特征值 Eigenvalue	7.017	3.058	2.474
贡献率(%) Proportion	46.782	20.386	16.495
累积贡献率(%) Cumulative	46.782	67.168	83.663

利用提取的主成分对鱼腥草居群进行聚类分析, 20 个鱼腥草居群可分为 4 类(图 3): 第 1 类称为心形类, 包括 P1、P2、P3、P4、P6、P7、P10、P11、P12、P13、P15、P16、P18、P19 居群, 叶片为典型的心形或宽卵形, 叶面积中等; 第 2 类称为小心形类, 包括 P14、P20 居群, 叶片呈现典型的心形或卵形, 叶面积最小; 第 3 类为狭心形类, 包括 P5、P8、P17 居群, 叶片长宽比值稍大, 呈现狭长状的心形, 叶面积较第 1 类小; 第 4 类为大心形类, 仅 P9 居群, 叶片长与宽几乎相等, 叶面积远远大于其他 3 类。

3 讨论

3.1 鱼腥草叶表型性状的多样性

对湖南省 20 个鱼腥草居群 15 个叶表型性状的变异系数分析发现, 各性状总的变异系数变化幅度不大, 在 3.71% ~ 10.28% 之间, 除叶面积的变异系数超过 10% 外, 其余性状的变异系数均未超过 10%, 远小于山杏(*Armeniaca sibirica* (L.) Lam)^[1] 的 14.51%、灰木莲(*Manglietia conifera* Dandy)^[2] 的 14.06% ~ 28.60%、云南含笑(*Michelia yunnanensis* Franch. ex Finet et Gagn.)^[3] 的 16.20% ~

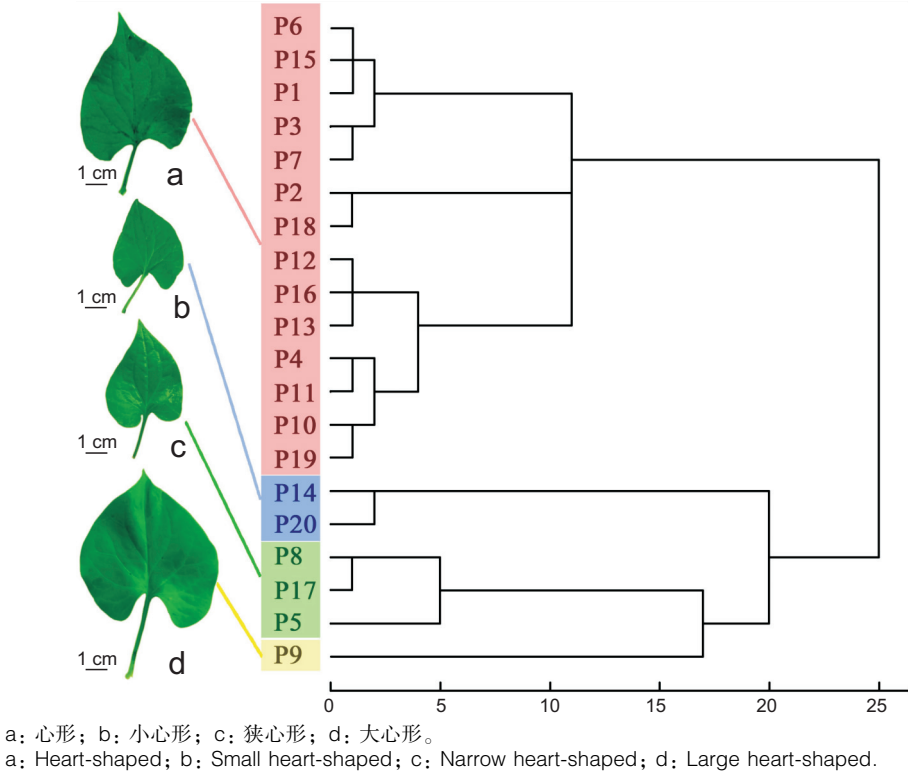


图 3 鱼腥草叶性状聚类分析
Fig. 3 Cluster analysis results of leaf phenotypic traits for *H. cordata* populations

60.11%、浙江楠 (*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang)^[4] 的 16.99%、杏黄兜兰 (*Paphiopedilum armeniacum* S. C. Chen et F. Y. Liu)^[27] 的 15.11%~26.36%、华中五味子 (*Schisandra sphenanthera* Rehd. et Wils.)^[29] 的 13%~26%、独叶草 (*Kingdonia uniflora* Balf. f. et W. W. Smith)^[30] 的 17.34%~44.17%, 表明鱼腥草叶表型的变异程度不高。不同居群间的变异系数变化在 5.63%~9.08%之间, 变异程度也不高。由于鱼腥草居群内均方值远远小于居群间的均方值, 因此性状的变异主要是由居群间的变异引起的, 使不同居群的鱼腥草在叶表型性状上呈现出较高的多样性, 而同一居群内的多样性程度则较低。这一结果不同于云南含笑^[3]、杏黄兜兰^[27] 居群内多样性高于居群间多样性的结果。

在 9 个叶表型性状中, 叶面积的变异系数最大 (10.28%), 叶基夹角最小 (6.74%), 表明叶片的面积变化最大, 多样性最强, 这可能是鱼腥草能适应多种环境的重要原因。叶片的大小反映着植物光合能力的强弱^[7], 鱼腥草多生长在背阴山坡、林缘、湿地草丛中, 光照强度不高^[23], 光量子通量密度和空气 CO₂ 浓度与鱼腥草净光合速率呈显著正相关^[31], 不同的叶面积能使鱼腥草在不同的光照条件下获得足够的光量子 and CO₂, 维持正常的生长发育。鱼腥草叶片中所含挥发油要高于茎, 且质量也最佳^[23], 因此, 选择优良药用种源时, 应尽量选择叶面积较大的居群。从相关性系数来看, 与叶面积关系最密切的性状是叶宽, 其次是叶中部宽, 最后是叶长。而叶宽、叶中部宽及叶长的变异系数均较高, 这就直接导致了叶面积的多样性最高。

3.2 鱼腥草叶表型性状多样性与遗传物质的关系

性状表现是遗传物质与环境共同作用的结果, 相当多的研究探讨了表型变异与环境间的关系^[8,9,25,28], 获得了较丰富的资料。本实验将不同来源的鱼腥草居群栽培在相同的环境中, 其表型变异受环境的影响几乎相同, 因此其表型变异可以认为主要是由遗传物质引起的。前人采用 RAPD^[32]、AFLP^[33]、SRAP^[34] 等分子标记技术对鱼腥草的研究也表明, 鱼腥草具有较高的遗传多样性, 且居群间的遗传多样性要高于居群内的遗传多样性, 本文叶表型性状多样性的结果与他们的研究一致。吴卫等^[32] 研究认为, 鱼腥草遗传多样性程度高是因为

鱼腥草较少异地引种, 不同居群逐渐适应其生长环境使得遗传物质发生变化, 从而形成了具不同遗传特征的类型。我们认为鱼腥草居群间多样性程度高于居群内, 这可能是由于遗传漂变形成的。据报道, 鱼腥草雄性不育^[22,35], 其繁殖主要靠根状茎进行无性繁殖, 居群内个体往往由于克隆生长而具有较高一致性的遗传背景, 导致居群内多样性程度较低。鱼腥草种子可能是由无融合生殖形成的^[22,35], 种子小且质量轻, 能随风传播^[34], 由于无融合生殖遗传特性复杂, 容易导致后代表型变异较大^[36], 因此通过遗传漂变可能使鱼腥草在居群间具有较高的表型多样性。

不同地理来源的物种居群, 由于受环境的影响, 其表型特征都会对生长环境有响应, 且在聚类分析中均得到体现^[1,28,30]。用分子标记技术对不同来源的鱼腥草进行聚类分析, 结果均显示与地理分布有一定关系^[32-34], 但本实验的聚类分析表明, 湖南省 20 个鱼腥草居群虽可分为 4 类, 却与原采集地没有表现出相关性。这说明在同质园栽培后, 不同来源的鱼腥草性状受到的环境影响是相同的, 其多样性主要是由遗传物质的不同引起的, 故其变异程度可能要低于遗传物质与环境因素双重影响下的物种性状变异程度。

参考文献:

- [1] 尹明宇, 姜仲茂, 朱绪春, 包文泉, 赵罕, 乌云塔娜. 内蒙古山杏种群表型变异[J]. 植物生态学报, 2016, 40(10): 1090-1099.
Yin MY, Jiang ZM, Zhu XC, Bao WQ, Zhao H, Wuyun TN. High-level phenotypic variations in populations of *Armeniaca sibirica* in Nei Mongol, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2016, 40(10): 1090-1099.
- [2] 文珊娜, 仲崇禄, 姜清彬, 陈羽, 张勇, 李清莹. 灰木莲种源幼苗叶片性状表型多样性分析[J]. 植物研究, 2017, 37(2): 288-297.
Wen SN, Zhong CL, Jiang QB, Chen Y, Zhang Y, Li QY. Phenotypic diversity analysis of seedling leaf traits of *Manglietia conifea* Dandy[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2017, 37(2): 288-297.
- [3] 宋杰, 李世峰, 刘丽娜, 李树发, 解玮佳, 关文灵. 云南含笑天然居群的表型多样性分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(2): 272-279.
Song J, Li SF, Liu LN, Li SF, Xie WJ, Guan WL. Phenotypic diversity of natural populations of *Michelia yunnanensis* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, 33(2): 272-279.

- [4] 李因刚, 柳新红, 马俊伟, 石从广, 朱光权. 浙江楠种群表型变异[J]. 植物生态学报, 2014, 38(12): 1315–1324.
Li YG, Liu XH, Ma JW, Shi CG, Zhu GQ. Phenotypic variations in populations of *Phoebe chekiangensis* [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, 38(12): 1315–1324.
- [5] Pengelly JLL, Sirault XRR, Tazoe Y, Evans JR, Furbank RT, von Caemmerer S. Growth of the C4 dicot *Flaveria bidentis*: photosynthetic acclimation to low light through shifts in leaf anatomy and biochemistry [J]. *J Exp Bot*, 2010, 61(14): 4109–4122.
- [6] Jiang CD, Wang X, Gao HY, Shi L, Chow WS. Systemic regulation of leaf anatomical structure, photosynthetic performance, and high-light tolerance in *Sorghum* [J]. *Plant Physiol*, 2011, 155(3): 1416–1424.
- [7] 王常顺, 汪诗平. 植物叶片性状对气候变化的响应研究进展[J]. 植物生态学报, 2015, 39(2): 206–216.
Wang CS, Wang SP. A review of research on responses of leaf traits to climate change [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2015, 39(2): 206–216.
- [8] 郭卫红, 王华, 虞木奎, 吴统贵, 韩有志. 沿海地区水杉叶片性状的纬度变化机制[J]. 应用生态学报, 2017, 28(3): 54–60.
Guo WH, Wang H, Yu MK, Wu TG, Han YZ. Latitude variation mechanism of leaf traits of *Metasequoia glyptostroboides* in eastern coastal China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(3): 54–60.
- [9] 蒋艾平, 姜景民, 刘军. 檫木叶片性状沿海拔梯度的响应特征[J]. 生态学报, 2016, 35(6): 1467–1474.
Jiang AP, Jiang JM, Liu J. Responses of leaf traits of *Sassafras tsumu* (Hemsl.) Hemsl. along an altitudinal gradient [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(6): 1467–1474.
- [10] 武瑞鑫, 邵新庆, 钟梦莹, 潘多, 李超群, 张德罡. 青藏高原东缘披针叶黄华叶片形态特征对海拔变化的响应[J]. 草原与草坪, 2016, 36(2): 1–7.
Wu RX, Shao XQ, Zhong MY, Pan D, Li CQ, Zhang DG. Response of leaf morphology traits of *Thermopsis lanceolata* to elevation gradient in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Grassland and Turf*, 2016, 36(2): 1–7.
- [11] 侯琨, 肖菲菲, 张延龙, 牛立新, 闫奕心. 中国野生百合叶表皮特征及系统学意义[J]. 西北植物学报, 2015, 35(8): 1560–1573.
Hou J, Xiao FF, Zhang YL, Niu LX, Yan YX. Structural characters of leaf epidermis and their systematic significance in the 20 wild *Lilium* species of China [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2015, 35(8): 1560–1573.
- [12] 樊香娥, 力志, 楚海家, 李伟, 刘艳玲, 陈媛媛. 菱蓼野生植物形态学性状的可塑性变异及其分类学价值[J]. 植物科学学报, 2016, 34(3): 340–351.
Fan XR, Li Z, Chu HJ, Li W, Liu YL, Chen YY. Analysis of morphological plasticity of *Trapa* L. from China and their taxonomic significance [J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(3): 340–351.
- [13] 廖保生, 宋经元, 谢彩香, 韩建萍, 陈士林. 道地药材产地溯源研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(20): 3881–3888.
Liao BS, Song JY, Xie CX, Han JP, Chen SL. Study on traceability system of genuine medicinal materials [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2014, 39(20): 3881–3888.
- [14] 徐艳琴, 蔡婉珍, 胡生福, 黄小虎, 葛菲, 王瑛. 箭叶淫羊藿同质园栽培居群非腺毛多样性及其分类学启示[J]. 生物多样性, 2013, 21(2): 185–196.
Xu YQ, Cai WZ, Hu SF, Huang XH, Ge F, Wang Y. Morphological variation of non-glandular hairs in cultivated *Epimedium sagittatum* (Berberidaceae) populations and implications for taxonomy [J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21(2): 185–196.
- [15] 李超, 赵广东, 王兵, 史作民, 邓宗富, 夏晨, 陈和东. 中亚热带樟科3种植物幼苗叶结结构型性状的种间差异及其相关性[J]. 植物科学学报, 2016, 34(1): 27–37.
Li C, Zhao GD, Wang B, Shi ZM, Deng ZF, Xia C, Chen HD. Interspecific differences and correlation among leaf structural traits of three plant seedlings of Lauraceae in the mid-subtropical zone of China [J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(1): 27–37.
- [16] 陈婧, 方建国, 吴方建, 施春阳, 熊苗苗, 王文清. 鱼腥草抗炎药理作用机制的研究进展[J]. 中草药, 2014, 45(2): 284–289.
Chen J, Fang JG, Wu FJ, Shi CY, Xiong MM, Wang WQ. Research progress on anti-inflammatory mechanism of *Houttuynia cordata* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2014, 45(2): 284–289.
- [17] Lin TY, Liu YC, Jheng JR, Tsai HP, Jan JT, Wong WR, Horng JT. Anti-enterovirus 71 activity screening of Chinese herbs with anti-infection and inflammation activities [J]. *Am J Chin Med*, 2009, 37(1): 143–158.
- [18] Tian LM, Zhao Y, Guo C, Yang XB. A comparative study on the antioxidant activities of an acidic polysaccharide and various solvent extracts derived from herbal *Houttuynia cordata* [J]. *Carbohydr Polym*, 2011, 83(2): 537–544.
- [19] Lai KC, Chiu YJ, Tang YJ, Lin KL, Chiang JH, Jiang YL, et al. *Houttuynia cordata* Thunb. extract inhibits cell growth and induces apoptosis in human primary colorectal cancer cells [J]. *Anticancer Res*, 2010, 30(9): 3549–3556.
- [20] Lau KM, Lee KM, Koon CM, Cheung CS, Lau CP, Ho HM, et al. Immunomodulatory and anti-SARS activities of *Houttuynia cordata* [J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 118(1): 79–85.

- [21] Lee JS, Kim IS, Kim JH, Kim JS, Kim DH, Yun CY. Suppressive effects of *Houttuynia cordata* Thunb (Saururaceae) extract on Th2 immune response[J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 117(1): 34–40.
- [22] 李爱民, 徐刚红, 沈美珍. 鱼腥草的花粉活力及雌雄配子体的发育[J]. 植物科学学报, 2014, 32(6): 561–566.
Li AM, Xu GH, Shen MZ. Pollen viability and male and female gametophyte development in *Houttuynia cordata* Thunb. [J]. *Plant Science Journal*, 2014, 32(6): 561–566.
- [23] 孙贵佳, 权秋梅, 廖咏梅, 陈劲松, 黎云祥. 不同生境鱼腥草形态特征及主要有效成分含量差异分析[J]. 广西植物, 2014, 34(3): 408–413.
Sun GJ, Quan QM, Liao YM, Chen JS, Li YX. Analysis on morphological characteristics and effective composition contents of *Houttuynia cordata* in different habitats [J]. *Guihaia*, 2014, 34(3): 408–413.
- [24] 杭悦宇, 黄春洪, 穆森, 徐珞珊. 盾叶薯蓣叶片形态多样性研究[J]. 云南植物研究, 2004, 26(4): 398–404.
Hang YY, Huang CH, Mu S, Xu LS. Studies on diversity of morphological characteristics of leaves from *Dioscorea zingiberensis* [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2004, 26(4): 398–404.
- [25] 冯梅, 黄文娟, 李志军. 胡杨叶形变化与叶片养分间的关系[J]. 生态学杂志, 2014, 33(6): 1467–1473.
Feng M, Huang WJ, Li ZJ. Relationship of leaf shape change and leaf nutrient contents in *Populus euphratica* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(6): 1467–1473.
- [26] 李任辉, 赵仲辉, 李家湘. 基于 Photoshop 软件测量植物叶面积的白纸背景法[J]. 湖南林业科技, 2016, 43(1): 138–142, 148.
Li RH, Zhao ZH, Li JX. An Photoshop software based and white paper as background method for measuring leaf area[J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2016, 43(1): 138–142, 148.
- [27] 周妍慧, 贾瑞冬, 杨树华, 赵鑫, 葛红, 罗文美, 赵新梅, 桑益恒. 杏黄兜兰居群表型多样性分析[J]. 园艺学报, 2016, 43(7): 118–128.
Zhou YH, Jia RD, Yang SH, Zhao X, Ge H, Luo WM, Zhao XM, Sang YH. Phenotypic diversity of *Paphiopedilum armeniacum* populations [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2016, 43(7): 118–128.
- [28] 苏应雄, 张雪, 王文礼, 赵云勇, 王跃华, 申仕康. 红棕杜鹃不同海拔种群的表型多样性研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(2): 356–362.
Su YX, Zhang X, Wang WL, Zhao YY, Wang YH, Shen SK. Phenotypic diversity of *Rhododendron rubiginosum* populations at different altitudes [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, 37(2): 356–362.
- [29] 杨贺雨, 卫海燕, 桑满杰, 尚忠慧, 毛亚娟, 王小蕊, 刘芳, 顾蔚. 华中五味子叶表型可塑性及环境因子对叶表型的影响[J]. 植物学报, 2016, 51(3): 43–55.
Yang HY, Wei HY, Sang MJ, Shang ZH, Mao YJ, Wang XR, Liu F, Gu W. Phenotypic plasticity of *Schisandra sphenanthera* leaf and the effect of environmental factors on leaf phenotype [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2016, 51(3): 43–55.
- [30] 刘晓, 岳明, 任毅. 独叶草叶片性状表型多样性研究[J]. 西北植物学报, 2011, 31(5): 861–867.
Liu X, Yue M, Ren Y. Morphologic variation of *Kingdonia uniflora* leaves [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2011, 31(5): 861–867.
- [31] 黄春燕, 吴卫, 郑有良, 黄曜. 鱼腥草光合蒸腾特性及影响因素的分析[J]. 西北植物学报, 2006, 26(5): 989–994.
Huang CY, Wu W, Zheng YL, Huang Y. Photosynthetic and transpiration characteristics and their affecting factors of *Houttuynia cordata* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(5): 989–994.
- [32] 吴卫, 郑有良, 陈黎, 魏育明, 颜泽洪, 杨瑞武. 鱼腥草种质资源的 RAPD 分析[J]. 药学报, 2002, 37(12): 986–992.
Wu W, Zheng YL, Chen L, Wei YM, Yan ZH, Yang RW. RAPD analysis on the germplasm resources of herba *Houttuyniae* [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2002, 37(12): 986–992.
- [33] 黎晓英, 魏麟, 伍贤进, 饶力群. 中国不同地理居群鱼腥草遗传多样性分析[J]. 中草药, 2010, 41(2): 285–288.
Li XY, Wei L, Wu XJ, Rao LQ. Analysis on genetic diversity of different geographical populations of *Houttuynia cordata* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2010, 41(2): 285–288.
- [34] 钟军, 王坤, 仇萍, 曾维军, 熊兴耀. 鱼腥草不同地理群体遗传结构与变异的研究[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 227–233.
Zhong J, Wang K, Qiu P, Zen WJ, Xiong XY. Genetic structure and variation in different geographical populations of *Houttuynia cordata* [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(2): 227–233.
- [35] 林美珍, 蔡扬帆, 马燕, 田惠桥. 鱼腥草花药发育的组织化学[J]. 中国药理学杂志, 2011, 46(22): 1711–1714.
Lin MZ, Cai YF, Ma Y, Tian HQ. Phytohistochemistry on developing anthers of *Houttuynia cordata* [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2011, 46(22): 1711–1714.
- [36] 胡龙兴, 王兆龙. 植物无融合生殖相关基因研究进展[J]. 遗传, 2008, 30(2): 155–163.
Hu LX, Wang ZL. Progress on the research of apomixis related genes in plant [J]. *Hereditas*, 2008, 30(2): 155–163.