

云南怒江州不同地区草果种质资源农艺表型性状的遗传多样性分析

张映萍¹, 吉训志^{2,3,4}, 余少洪¹, 苏凡^{2,3,4}, 秦晓威^{1,2,3,4}, 郝朝运^{1,2,3,4}, 吴莲张¹, 徐飞^{2,3,4}, 和俊才¹, 和卫东¹, 友胜军^{1*}

1. 怒江绿色香料产业研究院, 云南怒江 673200; 2. 中国热带农业科学院香料饮料研究所, 海南万宁 571533; 3. 海南省热带香辛饮料作物遗传改良与品质调控重点实验室, 海南万宁 571533; 4. 海南省特色热带作物适宜性加工与品质控制重点实验室, 海南万宁 571533

摘要: 为了探究不同地区草果种质资源农艺表型性状的遗传多样性。以云南怒江州不同地区的草果种质资源为材料, 通过测定其 8 个农艺表型性状, 运用变异系数、遗传多样性指数、方差分析、相关性分析、聚类分析、主成分分析与综合评价的方法分析草果农艺表型性状的遗传多样性。结果表明: 各农艺表型性状均存在较大变异, 变异系数为 7.63%~32.51%, 其中分蘖数的变异系数最大; 各性状间表现出较好的多样性, shannon-wiener 指数 (H') 范围为 1.933~2.355, 平均值为 2.024; 各农艺表型性状不同种质间存在显著差异 ($P<0.05$); 果实纵径与果型指数、果重存在极显著的正相关关系, 果实横径与果重存在极显著的正相关关系, 果型指数与叶宽存在显著负相关关系; 聚类分析将不同地区草果种质资源分为 2 个类群, 其中来自福贡县与来自泸水市的草果种质资源各自聚成一类; 从 8 个农艺表型性状中共提取出 3 个主成分, 累计贡献率达到 76.940%, 能综合反映草果农艺表型性状的大部分信息; 综合评价结果表明, SD12、SD20、SD7、SD17、SD18、SD5 排在第 6 位, 综合表现较好。上述结果说明, 云南怒江州不同地区 24 份草果种质资源农艺表型性状的遗传多样性较为丰富, 不同地区的草果种质资源变异性较明显, 其中 SD12、SD20、SD7、SD17、SD18、SD5 草果的农艺表型性状综合表现较好, 是较适合用于育种的优质种质资源。

关键词: 草果; 农艺表型性状; 遗传多样性; 聚类分析; 综合评价

中图分类号: S567.239

文献标志码: A

Genetic Diversity Analysis of Agronomic Phenotypic Traits of *Amomum tsao-ko* Germplasm Resources at Different Areas in Nujiang, Yunnan, China

ZHANG Yingping¹, JI Xunzhi^{2,3,4}, YU Shaohong¹, SU Fan^{2,3,4}, QIN Xiaowei^{1,2,3,4}, HAO Chaoyun^{1,2,3,4}, WU Lianzhang¹, XU Fei^{2,3,4}, HE Juncai¹, HE Weidong¹, YOU Shengjun^{1*}

1. Nujiang Green Spice Industry Research Institute, Nujiang, Yunnan, 673200, China; 2. Spice and Beverage Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wanning, Hainan 571533, China; 3. Hainan Provincial Key Laboratory of Genetic Improvement and Quality Regulation for Tropical Spice and Beverage Crops, Wanning, Hainan 571533, China; 4. Key Laboratory of Processing Suitability and Quality Control of the Special Tropical Crops of Hainan Province, Wanning, Hainan 571533, China

Abstract: The germplasm resources of *Amomum tsao-ko* (AT) at different altitudes in Nujiang, Yunnan were used as the

收稿日期 2023-05-06; 修回日期 2023-07-05

基金项目 云南省郝朝运专家工作站“科技人才与平台计划”(No. 202205AF150050); 云南省科协谷风林专家工作站“国家科技资源共享服务平台”(No. NTPGRC2022-014); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(No. 1630142022008)。

作者简介 张映萍(1996—), 女, 硕士, 助理农艺师, 研究方向: 香料加工。*通信作者(Corresponding author): 友胜军(YOU Shengjun), E-mail: 535505470@qq.com。

materials to explore the genetic diversity of the agronomic phenotypic traits of AT germplasm resources at different areas. The genetic diversity of the agronomic phenotypic traits of AT was analyzed by measuring 8 agronomic phenotypic traits, using coefficient of variation, genetic diversity index, variance analysis, correlation analysis, cluster analysis, principal component analysis and comprehensive evaluation. The results showed that there were large variations in the agronomic phenotypic traits, and the variation coefficient was 7.63%–32.51%, among which the variation coefficient of tiller number was the largest. The traits showed good diversity, H' (diversity index) was 1.933–2.355, with an average of 2.024. There were significant differences in the agronomic phenotypic traits among different germplasms. There was a significant positive correlation between fruit longitudinal diameter and fruit shape index and fruit weight. There was a significant positive correlation between fruit transverse diameter and fruit weight. There was a significant negative correlation between fruit shape index and leaf width. Cluster analysis divided the AT germplasm resources at different areas into two groups, among which the AT germplasm resources from the areas of Lushui and from Fugong were clustered into one group. Three principal components were extracted from eight agronomic phenotypic traits, and the cumulative contribution rate reached 76.940%, which could comprehensively reflect most of the information of agronomic phenotypic traits of AT. The comprehensive evaluation results showed that SD12, SD20, SD7, SD17, SD18 and SD5 were ranked in the top six, and the comprehensive performance was better. The genetic diversity of the agronomic phenotypic traits of 24 AT germplasm resources in different areas of Nujiang, Yunnan is relatively rich, and the variability of AT germplasm resources in different areas is obvious. Among them, the agronomic phenotypic traits of SD12, SD20, SD7, SD17, SD18 and SD5 AT are better, which are more suitable for breeding.

Keywords: *Amomum tsao-ko*; agronomic phenotypic traits; genetic diversity; cluster analysis; comprehensive evaluation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.06.007

草果 (*Amomum tsao-ko* Crevost et Lemaire) 为姜科豆蔻属多年生常绿丛生草本经济植物, 又称草豆蔻、草果子、草果仁, 适宜生长在海拔 1200~2000 m、年平均温度 17~19 °C、年平均降雨量 1000~1600 mm、相对湿度 80%~85% 的阔叶林中, 果实成熟呈红、棕红、深红等果色^[1]。草果种植 3~4 年后即可开花结果, 可连续结果 20 年以上, 草果是传统的中药材和调味品, 具有巨大的经济价值^[2]。

由于草果是具柱头卷曲机制的姜科植物 (柱头卷曲机制是通过柱头的卷曲运动而改变其位置, 避免自交、促进杂交的独特、主动机制), 使得草果花专性异交, 杂交率高, 导致草果农艺性状多样性高^[3]。依据草果果实的外观特性, 云南红河州的草果, 主要有“圆形”、“椭圆形”以及“梭形”3 种不同类型^[4]。随着海拔梯度变化, 会使得温度、湿度和光照强度等条件发生变化, 使得草果出现生理生态适应性变化, 从而改变其质量品质^[5]。目前, 云南怒江州地区草果的农艺表型性状及其遗传多样性研究尚未报道。基于此, 本研究采取随机调查采样方式, 对怒江州的福贡和泸水 2 个草果主产区的草果种质资源农艺表型性状进行测定, 运用变异系数、遗传多样性指数、方差分析、相关性分析、聚类分析、主成分分析与综合评价的方法对不同地区草果种质资源的农

艺表型性状的遗传多样性进行分析, 旨在初步探究怒江不同地区的草果种质资源多样性, 以期草果种质资源的开发利用和优良品种选育提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

随机调查于 2022 年 11 月在怒江州福贡县布腊、布施、石月亮乡以及鲁掌镇 4 个地区进行采样, 依据草果果实性状与果色, 随机挑选 3 株, 对株高、分蘖数、叶长与叶宽等性状进行统计并采集果实, 果实带回实验室进行拍照与研究分析。材料来源信息见表 1。

试验设备: 普通卷尺, LA-S 千粒重仪 (杭州万深仪器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 指标测定 用卷尺从选定植株接近地面处到枝条最高处测量株高; 随机选取同一株不同的叶片测量其叶长和叶宽; 计算植株在地面上的分蘖数; 挑取不同果型中相对一致的 10 个果实放在千粒重仪上, 测定果重、果实纵径以及横径等果型指数。

1.2.1 数据分析及评价 采用 shannon-wiener 指数 (H') 进行遗传多样性分析评价, 为了便于统计分析, 对分蘖数 (X) 进行量化分级, 分为 6 个级别:

表 1 草果种质资源的编号及来源
Tab. 1 Number and source of *A. tsao-ko* germplasm resources

编号 No.	来源 Source	海拔 Altitude/m
SD1	福贡县马吉乡布腊村	1400
SD2	福贡县马吉乡布腊村	1400
SD3	福贡县马吉乡布腊村	1400
SD4	福贡县马吉乡布腊村	1400
SD5	福贡县马吉乡布腊村	1400
SD6	福贡县马吉乡布腊村	1400
SD7	福贡县马吉乡布腊村	1400
SD8	福贡县马吉乡布施村	1513
SD9	福贡县马吉乡布施村	1513
SD10	福贡县马吉乡布施村	1513
SD11	福贡县马吉乡布施村	1513
SD12	福贡县马吉乡布施村	1513
SD13	福贡县马吉乡布施村	1513
SD14	福贡县马吉乡布施村	1513
SD15	福贡县马吉乡布施村	1513
SD16	福贡县石月亮乡阿路底村	1320
SD17	福贡县石月亮乡阿路底村	1320
SD18	泸水市鲁掌镇浪坝寨	1800
SD19	泸水市鲁掌镇浪坝寨	1800
SD20	泸水市鲁掌镇浪坝寨	1800
SD21	泸水市鲁掌镇浪坝寨	1800
SD22	泸水市鲁掌镇浪坝寨	1800
SD23	泸水市鲁掌镇浪坝寨	1800
SD24	泸水市鲁掌镇浪坝寨	1800

$X_1 < 3, 3 \leq X_2 < 4, 4 \leq X_3 < 5, 5 \leq X_4 < 6, 6 \leq X_5 < 7, X_6 \geq 7$ 。

对本试验中除分蘖数以外的农艺表型性状进行分级（表 2），算出每个农艺表型性状的平均观测值（ X ）和标准差（ σ ），根据 $X \pm K\sigma$ （ $K=0, 1, 2$ ），计算每个性状相应级别的相对频率，最后计算 $H^{[6]}$ 。

$$H' = -\sum P_i \times \ln P_i \quad (i=0, 1, 2, 3, 4, \dots, n)$$

式中， P_i 为某个性状第 i 个级别出现的频率，如样品总个数为 N ，第 i 个级别个体数为 N_i ，则 $P_i = N_i / N$ 。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件计算性状数据的标准差、平均值、最大值、最小值、变异系数、 H' 等。采用 SPSS 25.0 软件进行相关性分析、聚类分析、主成分分析。

表 2 草果种质资源农艺表型性状观测值的等级划分
Tab. 2 Classification of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* germplasm resources

等级 Level	观测值 Observation
1	$X_1 < X - 2\sigma$
2	$X - 2\sigma \leq X_2 < X - \sigma$
3	$X - \sigma \leq X_3 < X$
4	$X \leq X_4 < X + \sigma$
5	$X + \sigma \leq X_5 < X + 2\sigma$
6	$X_6 \geq X + 2\sigma$

注： X_n 为第 n 级的观测值。
Note: X_n is the observation value of the n^{th} level.

2 结果与分析

2.1 云南怒江州不同地区草果种质资源农艺表型性状的多样性分析

云南怒江州不同地区 24 份草果种质资源农艺表型性状多样性见表 3。24 份草果种质资源的果实性状主要有纵径、横径、果型指数、果重，平均值分别为 39.19 mm、28.81 mm、1.37、128.20 g，其中果重的极差为 123.00 g；株高平均值为 2.54 m，极大值与极小值之间相差 1.48 m；分蘖数平均值为 5.21，极大值与极小值之间相差 6.00；叶片性状主要有叶长和叶宽，平均值分别为 72.76、23.29 cm。24 份草果种质资源农艺表型性状的变异系数为 7.63%~32.51%，其中果实横径变异系数最小，为 7.63%（小于 10.00%），分蘖数的变异系数最大，果重次之，除果实横径以外，其他的农艺表型性状的变异系数均大于 10.00%。说明云南怒江州不同地区草果种质资源的变异性较大，以分蘖数的变异系数最大，果实横径变异系数最小，性状最为稳定。可见，怒江州不同地区草果种质资源遗传变异较为明显。

遗传多样性指数（ H' ）可以反映植物表型性状的遗传多样性^[7]。由表 4 可知，云南怒江州不同地区 24 份草果种质资源中各个农艺表型性状的 H' 范围为 1.933~2.355，平均值为 2.024，8 种农艺表型性状多样性指数排序为分蘖数（2.355）>叶长（2.101）>果重（2.003）>纵径/果型指数/株高（1.971）>叶宽（1.933）>横径（1.890）。其中分蘖数的 H' 最大，叶长、果重次之，其中叶长在第 1 级和第 6 级分布频率相同，果重在第 1、5、6 级分布频率相同，说明各个农艺表型性状间表现出较好的多样性，其中不同地区草果的分蘖

表 3 草果种质资源农艺表型性状的变异分析
Tab. 3 Variation analysis of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* genetic resources

性状 Trait	平均值 Mean value	极大值 Maximum	极小值 Minimum	极差 Range	标准差 SD	变异系数 CV/%
纵径/mm	39.19	47.64	29.47	18.17	5.46	13.92
横径/mm	28.81	35.31	24.02	11.29	2.20	7.63
果型指数	1.37	1.74	1.12	0.61	0.19	14.12
果重/g	128.20	192.70	69.70	123.00	26.17	20.41
株高/m	2.54	3.22	1.73	1.48	0.42	16.65
分蘖数	5.21	8.00	2.00	6.00	1.69	32.51
叶长/cm	72.76	94.00	50.00	44.00	9.30	12.78
叶宽/cm	23.29	27.33	18.67	8.67	2.65	11.37

表 4 草果种质资源农艺表型性状的多样性及频率分布
Tab. 4 Diversity and frequency distribution of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* germplasm resources

性状 Trait	频率分布 Frequency distribution						<i>H'</i>
	1	2	3	4	5	6	
纵径/mm	0.000	0.471	0.528	0.500	0.471	0.000	1.971
横径/mm	0.191	0.191	0.500	0.518	0.299	0.191	1.890
果型指数	0.000	0.471	0.528	0.471	0.500	0.000	1.971
果重/g	0.191	0.375	0.528	0.526	0.191	0.191	2.003
株高/m	0.000	0.471	0.528	0.500	0.471	0.000	1.971
分蘖数	0.375	0.518	0.471	0.191	0.500	0.299	2.355
叶长/cm	0.191	0.299	0.526	0.518	0.375	0.191	2.101
叶宽/cm	0.000	0.471	0.500	0.531	0.431	0.000	1.933

数、叶长、果重的多样性较高。而其余农艺表型性状的多样性指数均在 2.000 以下，表明不同地区草果种质资源的纵径、果型指数、株高、叶宽、横径等表型性状的多样性相对较低，其遗传性状相对稳定。

2.2 云南怒江州不同地区草果种质资源农艺表型性状的方差分析

通过草果种质资源农艺表型性状的方差分析结果可知（表 5），各农艺表型性状不同种质间存在显著差异（ $P<0.05$ ）。其中 SD11、SD9、SD1、SD16、SD24 草果种质资源的纵径显著较大，SD23 的纵径显著较小；SD20 草果种质资源的横径最大，为 (35.31 ± 2.71) mm，SD6 横径最小，为 (26.38 ± 1.60) mm；SD12、SD9、SD24 草果种质资源的果型指数显著较高，SD2、SD3、SD21 草果种质资源的果型指数最小，而 SD13、SD15、SD22、SD23 草果种质资源的果型指数差异不显著。SD12、SD7 两份草果种质资源的株高最高，SD16 的株高最矮；叶长方面，除了 SD24 草果种质资源的叶长

显著较长和 SD10 的叶长显著较短以外，其他组草果种质资源的叶长均在 $(86.00\pm 5.29)\sim(59.33\pm 7.02)$ cm 范围内；叶宽方面，SD3 的叶宽最宽，为 (27.33 ± 1.53) cm，SD3 的叶宽最窄，为 (18.67 ± 4.04) cm。

2.3 云南怒江州不同地区草果种质资源农艺表型性状的相关性分析

对怒江州不同地区 24 份草果种质资源的 8 个农艺表型性状进行相关性分析，结果显示（表 6），部分农艺表型性状间存在显著相关性。果实纵径与果型指数、果重呈极显著正相关，相关系数分别为 0.876、0.709；果实横径与果重呈极显著正相关，相关系数为 0.839，与株高呈显著正相关，相关系数为 0.396；果型指数与叶宽呈显著负相关，相关系数为-0.385，株高与叶宽呈极显著正相关，相关系数为 0.562。

2.4 云南怒江州不同地区草果种质资源的欧式距离聚类分析

对 24 份草果种质资源进行聚类分析，以欧氏距离为 4 可将其划分为两大类群（图 1），各类群的农艺表型性状平均值见表 7。其中第一类群（Ⅰ）包括 17 份草果种质资源，表现为果实性状中纵径较大，横径较大，果型指数较大，果重较重，株高较高，分蘖数 ≥ 6 ，叶长较长，叶宽更宽。第二类群（Ⅱ）包括 SD18、SD19、SD20、SD21、SD22、SD23、SD24 等 7 份草果种质资源，表现为果实性状中纵径较小，横径较小，果型指数较小，果重略轻，株高略矮，分蘖数小于 5，叶长略短，叶宽略窄。可见，本试验中采自海拔 1320~1513 m 区域的草果种质资源多数聚为一类，组间亲缘关系较近，农艺表型性状的遗传变异程度小。而采自泸水市的 7 份草果种质资源聚为一类，农艺表

表 5 草果种质资源农艺表型性状的方差分析

Tab. 5 Variance analysis analysis of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* genetic resources

编号 No.	农艺表型性状 Agronomic phenotypic traits					
	纵径 Longitudinal diameter/mm	横径 Transverse diameter/mm	果型指数 Fruit shape index	株高 Plant height/m	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm
SD1	44.91±2.76 ^{ab}	28.65±3.55 ^{defg}	1.58±0.16 ^{bcd}	2.53±0.12 ^{defgh}	82.67±13.01 ^{abc}	22.67±2.52 ^{cdefgij}
SD2	35.32±2.74 ^{ef}	31.55±2.73 ^{bc}	1.12±0.08 ^j	2.73±0.21 ^{abcdef}	61.67±12.58 ^{def}	25.00±3.00 ^{abcde}
SD3	31.66±2.95 ^{fg}	27.85±1.88 ^{defg}	1.14±0.09 ^j	2.77±0.31 ^{abcdef}	64.67±8.74 ^{cdef}	27.33±1.53 ^a
SD4	38.92±3.64 ^d	28.31±2.78 ^{defg}	1.38±0.15 ^{fg}	2.14±0.21 ^{hij}	67.00±12.77 ^{cdef}	27.00±2.65 ^{ab}
SD5	43.61±3.83 ^{bc}	29.22±1.71 ^{cdef}	1.49±0.10 ^{de}	2.98±0.10 ^{abc}	79.00±2.65 ^{abcd}	24.67±1.53 ^{abcde}
SD6	33.48±2.37 ^f	26.38±1.60 ^g	1.27±0.06 ^{ghi}	1.92±0.08 ^{ij}	74.00±11.00 ^{bcddef}	22.00±2.00 ^{cdefgij}
SD7	38.75±4.17 ^d	29.66±1.15 ^{cdef}	1.31±0.12 ^{gh}	3.20±0.26 ^a	75.67±10.69 ^{bcddef}	26.33±1.53 ^{abc}
SD8	34.17±2.38 ^{ef}	29.83±2.06 ^{cde}	1.15±0.11 ^j	2.50±0.46 ^{defgh}	72.67±9.71 ^{bcddef}	26.33±0.58 ^{abc}
SD9	46.40±4.13 ^{ab}	28.24±2.32 ^{defg}	1.65±0.19 ^{ab}	2.08±0.37 ^{hij}	77.00±9.85 ^{bcde}	23.33±3.06 ^{abcdefg}
SD10	42.50±4.76 ^{bc}	27.17±1.71 ^{fg}	1.56±0.14 ^{bcd}	2.66±0.05 ^{bcddefg}	50.00±8.66 ^f	20.00±0.00 ^{fgij}
SD11	47.64±4.03 ^a	27.48±1.75 ^{efg}	1.74±0.12 ^a	2.28±0.03 ^{fghi}	71.67±8.62 ^{bcddef}	19.00±3.46 ^{ij}
SD12	44.09±4.51 ^{abc}	32.29±2.05 ^b	1.36±0.07 ^{fg}	3.22±0.24 ^a	84.00±7.94 ^{abc}	25.67±0.58 ^{abcd}
SD13	34.01±5.72 ^{ef}	27.20±2.20 ^{fg}	1.25±0.16 ^{hij}	2.31±0.04 ^{fghi}	65.33±5.03 ^{cdef}	23.00±2.65 ^{bcddefgi}
SD14	37.36±3.62 ^{de}	29.64±3.87 ^{cdef}	1.27±0.12 ^{ghi}	2.73±0.16 ^{abcdef}	71.33±6.03 ^{bcddef}	22.00±1.73 ^{cdefgij}
SD15	33.06±1.75 ^f	27.60±2.03 ^{defg}	1.20±0.07 ^{hij}	2.10±0.70 ^{hij}	71.00±11.00 ^{bcddef}	18.67±4.04 ^j
SD16	45.22±2.48 ^{ab}	27.91±0.81 ^{defg}	1.62±0.09 ^{bc}	1.73±0.15 ^j	59.33±7.02 ^{ef}	21.33±0.58 ^{efgij}
SD17	43.57±4.90 ^{bc}	30.15±2.59 ^{bcd}	1.45±0.12 ^{ef}	3.11±0.01 ^{ab}	78.67±3.21 ^{abcde}	23.67±0.58 ^{abcdefg}
SD18	44.34±4.79 ^{abc}	29.23±1.80 ^{cdef}	1.52±0.13 ^{cde}	2.87±0.25 ^{abcde}	74.00±5.29 ^{bcddef}	25.67±1.53 ^{abcd}
SD19	38.84±2.99 ^d	28.31±1.11 ^{defg}	1.37±0.11 ^{fg}	2.43±0.15 ^{efgh}	68.67±5.13 ^{cdef}	21.00±0.00 ^{efgij}
SD20	41.02±5.06 ^{cd}	35.31±2.71 ^a	1.17±0.16 ^{ij}	2.90±0.10 ^{abcde}	68.33±7.23 ^{cdef}	24.33±0.58 ^{abcdef}
SD21	34.08±4.04 ^{ef}	30.16±2.62 ^{bcd}	1.13±0.06 ^j	2.20±0.10 ^{ghij}	72.67±11.37 ^{bcddef}	20.33±2.08 ^{efgij}
SD22	33.17±2.77 ^f	27.82±2.85 ^{defg}	1.20±0.10 ^{hij}	2.47±0.32 ^{efgh}	77.00±6.24 ^{bcde}	24.67±2.52 ^{abcde}
SD23	29.47±4.08 ^g	24.02±3.33 ^h	1.23±0.06 ^{hij}	3.03±0.29 ^{abc}	86.00±5.29 ^{ab}	25.67±1.53 ^{abcd}
SD24	45.02±3.04 ^{ab}	27.45±1.44 ^{efg}	1.64±0.09 ^{ab}	2.07±0.21 ^{hij}	94.00±2.65 ^a	19.33±2.31 ^{gij}

注：同列数据后不同小写字母表示样品间差异显著（ $P<0.05$ ）。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference among samples ($P<0.05$).

表 6 草果种质资源农艺表型性状的相关性分析

Tab. 6 Correlation analysis of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* germplasm resources

农艺表型性状 Agronomic phenotypic traits	纵径 Longitudinal diameter	横径 Transverse diameter	果型指数 Fruit shape index	果重 Fruit weight	株高 Plant height	分蘖数 Tiller number	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width
纵径	1							
横径	0.250	1						
果型指数	0.876 ^{**}	-0.244	1					
果重	0.709 ^{**}	0.839 ^{**}	0.295	1				
株高	-0.011	0.396 [*]	-0.229	0.308	1			
分蘖数	0.036	0.098	-0.014	0.097	0.115	1		
叶长	0.128	-0.072	0.150	0.040	0.192	-0.319	1	
叶宽	-0.248	0.242	-0.385 [*]	0.062	0.562 ^{**}	0.023	0.082	1

注：*表示显著相关（ $P<0.05$ ），**表示极显著相关（ $P<0.01$ ）。

Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

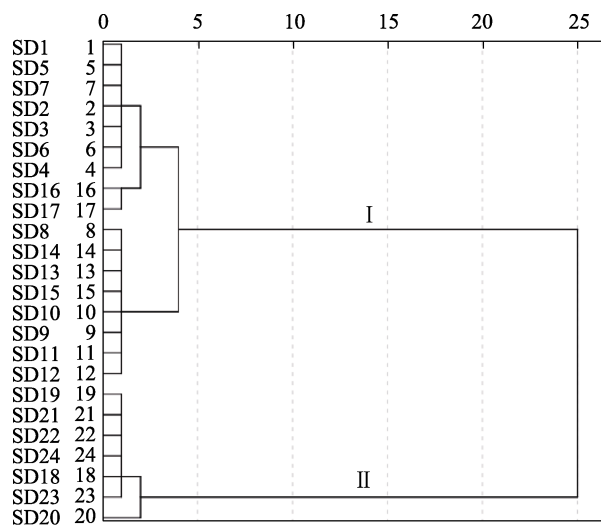


图 1 草果种质资源农艺表型性状的欧式距离聚类图
Fig. 1 Euclidean distance clustering diagram of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* germplasm resources

表 7 不同类群草果种质资源的 8 个农艺表型性状比较
Tab. 7 Cluster analysis of 8 agronomic phenotypic traits of different groups of *A. tsao-ko* germplasm resources

性状 Trait	聚类分析 Cluster analysis	
	第一类群 he first group	第二类群 he second group
纵径/mm	43.32	35.06
横径/mm	29.76	27.86
果型指数	1.47	1.26
果重/g	147.94	108.45
株高/m	2.64	2.44
分蘖数	6.00	5.00
叶长/cm	75.51	70.03
叶宽/cm	23.42	23.17

型性状相似，组间亲缘关系较近。

2.5 云南怒江州不同地区草果种质资源农艺表型性状的主成分分析与综合评价

24 份草果的 8 个主要农艺性状进行主成分分析结果可知（表 8），共提取出 3 个主成分，贡献率分别为 31.552%、28.176%、17.212%，累计贡献率达到 76.940%。第一主成分的特征值为 2.524，贡献率为 31.552%，果重是其主要指标，载荷值为 0.942；第二主成分的特征值为 2.254，贡献率为 28.176%，叶宽是其主要指标，载荷值为 0.761；第三主成分的特征值为 1.377，贡献率为 17.212%，叶长是其主要指标，载荷值为 0.849。

通过将第一主成分作为 X 轴，将第二主成分作为 Y 轴来绘制 PCA 双标图（图 2）。由图 2 可

表 8 草果种质资源农艺表型性状的主成分分析
Tab. 8 Principal component Analysis of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* germplasm resources

农艺表型性状 Agronomic phenotypic traits	主成分 Principal component		
	PC1	PC2	PC3
纵径	0.891	-0.412	0.039
横径	0.638	0.604	-0.177
果型指数	0.574	-0.725	0.112
果重	0.942	0.229	-0.087
株高	0.274	0.733	0.243
分蘖数	0.109	0.150	-0.699
叶长	0.135	-0.033	0.849
叶宽	-0.04	0.761	0.236
特征值 (λ)	2.524	2.254	1.377
贡献率/%	31.552	28.176	17.212
累计贡献率/%	31.552	59.728	76.940

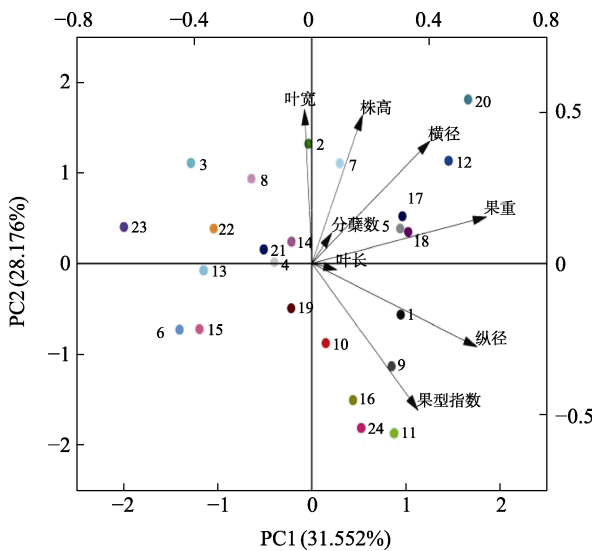


图 2 草果种质资源农艺表型性状主成分分析的双标图
Fig. 2 Biplot of principal component analysis of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* germplasm resources

知，第一主成分的贡献率为 31.552%，其中果重和纵径对样品分布贡献较大，均对样品分布有正贡献，其正向特征向量值分别为 0.942、0.891（表 8）；第二主成分的贡献率为 28.176%，叶宽和果型指数是主要贡献指标，叶宽对样品分布有正贡献，正向特征向量值为 0.761，果型指数对样品分布有负贡献，负向特征向量值为 -0.725。说明果重、纵径、叶宽、果型指数是贡献率高的指标，对样品分类贡献大，对草果种质资源样品的分布影响较大，可作为草果种质资源的评价指标。

参考徐泽俊等^[8]的方法对 24 份草果种质资源

进行综合评分。将标准化后的 8 个农艺表型性状代入上述主成分，可得到如下关系式： $F_1=0.891X_1+0.638X_2+0.574X_3+0.942X_4+0.274X_5+0.109X_6+0.135X_7-0.04X_8$ ； $F_2=-0.412X_1+0.604X_2-0.725X_3+0.229X_4+0.733X_5+0.150X_6-0.033X_7+0.761X_8$ ； $F_3=0.039X_1-0.177X_2+0.112X_3-0.087X_4+0.243X_5-0.699X_6+0.849X_7+0.236X_8$ 。综合评价评分公式： $F=(\lambda_1/\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)F_1+(\lambda_2/\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)F_2+(\lambda_3/\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)F_3$ ， λ_1 、 λ_2 、 λ_3 为 3 个主成分对应的特征值。根据 F_1 、 F_2 、 F_3 的数值和主成分特征值贡献权重（0.410、0.366、0.224），由每个品种（样本）的综合评分公式 $F=0.410F_1+0.366F_2+0.224F_3$ 可计算出综合评分 F 值， F 值越高表明该品种（样本）综合性状越优良，怒江州不同地区草果种质资源的综合评分见表 9。24 份草果种质资源农艺表型性状的综合评分排序为 $SD12>SD20>SD7>SD18=SD17>SD5>SD2>SD1>SD8>SD9>$

表 9 草果种质资源农艺表型性状的综合评分
Tab. 9 Comprehensive scores Analysis of agronomic phenotypic traits of *A. tsao-ko* germplasm resources

编号 No.	F_1	F_2	F_3	综合得分 Comprehensive scores	排序 Order
SD1	2.34	0.32	0.39	1.16	8
SD2	1.53	1.52	0.05	1.20	7
SD3	0.82	1.53	0.26	0.96	12
SD4	1.44	0.77	0.36	0.95	13
SD5	2.32	0.93	0.19	1.33	6
SD6	0.80	0.35	0.22	0.50	24
SD7	1.83	1.43	0.63	1.41	3
SD8	1.18	1.35	0.43	1.07	9
SD9	2.30	-0.04	0.49	1.04	10
SD10	1.90	0.15	-0.37	0.75	20
SD11	2.37	-0.52	0.45	0.88	15
SD12	2.52	1.34	0.96	1.74	1
SD13	0.96	0.75	-0.11	0.64	22
SD14	1.51	0.86	0.35	1.01	11
SD15	0.89	0.30	0.17	0.51	23
SD16	2.06	-0.27	-0.31	0.68	21
SD17	2.31	1.00	0.16	1.35	5
SD18	2.36	0.91	0.22	1.35	4
SD19	1.56	0.41	0.27	0.85	17
SD20	2.52	1.71	-0.11	1.63	2
SD21	1.25	0.81	-0.15	0.77	19
SD22	0.98	1.04	0.39	0.87	16
SD23	0.47	1.18	0.77	0.80	18
SD24	2.11	-0.46	0.84	0.88	14

$SD14>SD3>SD4>SD24=SD11>SD22>SD19>SD23>SD21>SD10>SD16>SD13>SD15>SD6$ ，其中，综合评分平均值为 1.01，SD12 综合评分最高，为 1.74，SD6 综合评分最低，为 0.50，说明 SD12 农艺表型性状的综合表现最好，SD6 的综合表现最差。综合评分排在前 6 位的分别是 SD12、SD20、SD7、SD17、SD18、SD5，得分分别为 1.74、1.63、1.41、1.35、1.35、1.33，明显高于其他草果种质资源，说明这些种质资源的农艺表型性状综合表现较好。

3 讨论

3.1 草果种质资源农艺表型性状遗传多样性分析

植物的农艺表型性状是作物种质资源基因型和环境相互作用形成的一种表现形式，而形态学研究是一种将物种表型特征作为依据的生物遗传多样性研究方法，具有简单、直观、经济等特点，广泛应用于植物遗传多样性研究^[9]。种质资源是作物品种改良的基本材料，也是进行遗传育种研究的物质基础^[10]。尽管现代分子生物学技术（基因技术）能为种质资源研究提供稳定有效的方法^[11]，但仍需要进行作物种质资源表型性状的鉴定、调查、分析。云南省怒江州独特的高山峡谷风貌，造就了其草果种质资源的多样性，开展草果种质资源表型性状的遗传多样性研究，对草果种质资源保护和优质草果品种选育有重要意义。本研究对 24 份草果种质资源的农艺表型性状进行了较为全面的测定，并以此为依据对怒江州不同区域的草果进行农艺表型性状的遗传多样性分析。结果表明，8 个农艺表型性状的变异系数为 7.63%~32.51%，除果实横径以外，其他的农艺表型性状的变异系数均大于 10.00%^[12]，说明这几种表型性状特征受环境影响较为明显，该结果与 ZHANG 等^[13]的研究相似。8 个农艺表型性状的 H' 范围为 1.933~2.355，平均值为 2.024（大于 2.000），其中分蘖数、叶长、果重的多样性水平相对较高，说明 24 份草果种质资源农艺表型性状的遗传多样性较为丰富，同时也表明分蘖数、叶长、果重 3 种表型性状在 24 份草果中遗传基础最广，其改良潜力大。兰秀等^[6]研究调查了 16 份桃榔种质的表型性状发现不同地区的桃榔种质的表型性状具有丰富的遗传多样性，与本研究结果一致。

吕伟等^[14]认为遗传多样性指数反映的是种质

资源间性状的多样性,而变异系数的大小与某性状的变异范围呈正相关,即遗传多样性与变异系数间不存在相关关系。而本研究中分蘖数的变异系数和 H' 均为最高,果实横径变异系数和 H' 均为最低,其原因可能与本研究所采集的样本资源数量和所观测农艺性状较少有关。

聚类分析是按照性状相似程度进行分类的一种多元统计分析方法,分析结果客观科学^[15]。聚类分析结果可反映不同资源品种间的遗传差异和亲缘关系,同一聚类类群内品种的农艺性状特征差异较小,而类群间品种的农艺性状特征差异较明显^[16]。本研究中以 8 个农艺表型性状为指标对 24 份草果种质资源进行聚类分析,可将其划分为两大类群,其中来自福贡县区域的与来自泸水市的草果种质资源各自聚成一类,说明不同类群间的遗传差异性与不同区域显著相关,该结果与李德文等^[17]的研究结果一致。此外,其农艺表型性状可能还与草果对种植区域、种植环境的适应能力也有一定关系,本研究中样本量采集偏少,且并未对产量性状和品质性状进行调查,研究结果可能存在一定局限性。因此,为了更加准确、全面、深入地了解怒江州草果种质资源的遗传多样性,还需不断补充收集其他区域的草果种质资源,采用农艺表型性状与 DNA 分子标记相结合的方法,对草果种质资源的主要农艺表型性状和品质性状进行遗传多样性分析,筛选出综合表型性状和品质性状均优良的草果种质资源,为草果品种改良和新品种选育提供核心亲本材料。

3.2 草果种质资源农艺表型性状多样性的综合评价

作物种质资源的综合评价作为育种研究的重要环节之一^[18]。近年来研究者们对云南草果种质资源遗传多样性研究报道逐渐增多,但对云南怒江州地区草果农艺表型性状多样性的研究还相对较少,且对其进行综合评价的研究也相对较少。基于种质资源的农艺表型性状,利用隶属函数法与主成分分析相结合对种质资源进行综合评价的方法已在其他作物表型性状的综合评价中得到广泛应用^[19]。本研究以农艺表型性状的综合评分 F 值的大小为依据,对 24 份草果种质资源进行综合评价,结果发现 SD12、SD20、SD7、SD17、SD18、SD5 草果农艺表型性状表现较好,可初步确定其属于较优质种质资源。胡一凡等^[20]从基因水平上利用 7 对 SSR 引物对云南金平县的 24 个草果居

群进行遗传多样性分析,结果表明,云南金平县草果的遗传多样性水平较高。今后,为促进怒江州草果种质资源保护和优质草果品种选育,可利用分子标记技术进一步在基因水平上对更多的草果种质材料进行遗传多样性分析,以期更加准确客观地了解怒江州草果种质资源的遗传本质。

4 结论

通过变异系数、遗传多样性指数、方差分析、相关性分析、聚类分析、主成分分析与综合评价的方法对云南省怒江州不同地区草果种质资源的农艺表型性状进行遗传多样性分析,结果表明,本研究中 24 份草果种质资源农艺表型性状的遗传多样性较为丰富,怒江州不同地区的草果种质资源变异性较明显,其中 SD12、SD20、SD7、SD17、SD18、SD5 草果资源的农艺表型性状综合表现较好,是较适合用于育种的优质种质资源。

参考文献

- [1] 熊建秀, 杨志清. 云南怒江草果产业现状及可持续发展对策[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(10): 236-237.
XIONG J X, YANG Z Q. The present situation and countermeasures for its sustainable development of *Amomum tsao-ko* industry in Nujiang prefecture of Yunnan province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(10): 236-237. (in Chinese)
- [2] 宗四南, 黄祥. 怒江州泸水市草果产业现状及发展建议[J]. 热带农业科技, 2023, 46(1): 32-34.
ZONG S N, HUANG X. Status and development suggestions of *Amomum tsao-ko* industry in Lushui city of Nujiang prefecture[J]. Tropical Agricultural Science & Technology, 2023, 46(1): 32-34. (in Chinese)
- [3] 严美荣. 草果遗传多样性分析及其混淆品的 ITS 序列差异比较研究[D]. 昆明: 云南中医学院, 2012.
YAN M R. Analysis of genetic diversity of *Amomum tsao-ko* and comparative study on ITS sequence differences of its adulterants[D]. Kunming: Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2012. (in Chinese)
- [4] 雷恩, 郭俊明, 张旭山, 卢丙越, 刘艳红, 李春燕, 苏一兰, 苏长伟. 云南红河州 3 个草果栽培种产量和农艺性状的比较[J]. 种子, 2016, 35(6): 105-107, 109.
LEI E, GUO J M, ZHANG X S, LU B Y, LIU Y H, LI C Y, SU Y L, SU C W. Comparison of yield and agronomic traits of three *Amomum tsao-ko* cultivars in Honghe Prefecture of Yunnan province[J]. Seed, 2016, 35(6): 105-107, 109. (in Chinese)

- [5] 许倬卉. 草果生态适宜性区划及产地评价研究[D]. 昆明: 云南中医药大学, 2021.
XU Z H. Study on ecological suitability regionalization and origin evaluation of *Amomum tsao-ko*[D]. Kunming: Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, 2021. (in Chinese)
- [6] 兰秀, 杨海霞, 李恒锐, 梁振华, 马仙花, 刘连军, 陈海生. 16 份桃榔种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 西南农业学报, 2022, 35(5): 1000-1009.
LAN X, YANG H X, LI H R, LIANG Z H, MA X H, LIU L J, CHEN H S. Genetic diversity analysis of main agronomic traits of 16 *Arenga pinnata* germplasms resource[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(5): 1000-1009. (in Chinese)
- [7] 吕建珍, 王宏勇, 任莹, 马建萍, 赵凯. 不同生态区谷子品种表型鉴定及 SSR 遗传多样性分析[J]. 核农学报, 2023, 37(3): 471-482.
LYU J Z, WANG H Y, REN Y, MA J P, ZHAO K. Phenotypic identification and SSR genetic diversity analysis of millet varieties in different ecological regions[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2023, 37(3): 471-482. (in Chinese)
- [8] 徐泽俊, 齐玉军, 邢兴华, 童飞, 王幸. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(2): 468-480.
XU Z J, QI Y J, XING X H, TONG F, WANG X. Analysis and comprehensive evaluation of agronomic and quality traits of Huang-Huai-Hai soybean germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(2): 468-480. (in Chinese)
- [9] UDDIN N, MUHAMMAD N, ALI S S, ULLAH R, BARI A, HUSSAIN H, ZHU D C. Characterization of the genetic variability within *Ziziphus nummularia* genotypes by phenotypic traits and SSR markers with special reference to geographic distribution[J]. Genes, 2023, 14(1): 151-155.
- [10] 陈越, 陈玲, 钟巧芳, 张敦宇, 李婷婷, 程在全. 云南同名地方稻种资源主要表型性状及遗传变异的比较分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(7): 1796-1808.
CHEN Y, CHEN L, ZHONG Q F, ZHANG D Y, LI T T, CHENG Z Q. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of agronomic characters of rice germplasm resources in Yunnan province[J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(7): 1796-1808. (in Chinese)
- [11] MA M, YAN Z H, LU B Y. Assessment of genetic diversity of the medicinal and aromatic crop, *Amomum tsao-ko*, using PAAP and CDDP markers journal[J]. Agriculture, 2022, 12(10): 1536-1536.
- [12] 唐凤, 李瑶, 王永琪, 张树振, 张永超, 张博. 22 份野生披碱草属种质农艺性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 种子, 2021, 40(6): 44-51.
TANG F, LI Y, WANG Y Q, ZHANG S Z, ZHANG Y C, ZHANG B. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of agronomic traits of 22 wild *Elymus* germplasms[J]. Seed, 2021, 40(6): 44-51. (in Chinese)
- [13] ZHANG W, LU B Y, MENG H L, WEI X, YANG S C. Phenotypic diversity analysis of the fruit of *Amomum tsao-ko* Crevost et Lemarie, an important medicinal plant in Yunnan, China[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2019, 66(5): 1145-1154.
- [14] 吕伟, 韩俊梅, 任果香, 文飞, 王若鹏, 刘文萍. 山西芝麻种质资源遗传多样性分析[J]. 作物杂志, 2019(5): 57-63.
LYU W, HAN J M, REN G X, WEN F, WANG R P, LIU W P. Genetic diversity analysis of sesame germplasm resources in Shanxi[J]. Crops, 2019(5): 57-63. (in Chinese)
- [15] 喻华平, 赵志常, 高爱平, 罗睿雄. 基于主成分分析和聚类分析的 23 份黄皮种质资源的品质评价[J]. 热带作物学报, 2022, 43(7): 1357-1364.
YU H P, ZHAO Z C, GAO A P, LUO R X. Quality evaluation of 23 wampee germplasm resources based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(7): 1357-1364. (in Chinese)
- [16] 张忠武, 孙信成, 詹远华, 田军, 杨连勇, 马建军. 豇豆种质资源农艺性状的相关性、主成分及聚类[J]. 中国农学通报, 2017, 33(36): 63-71.
ZHANG Z W, SUN X C, ZHAN Y H, TIAN J, YANG L Y, MA J J. Correlation, principal component and clustering of agronomic traits of cowpea germplasm resources[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(36): 63-71. (in Chinese)
- [17] 李德文, 王少铭, 李晋华, 罗莉斯, 冷家归, 侯颖辉. 生姜种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(6): 1693-1703.
LI D W, WANG S W, LI J H, LUO L S, LENG J G, HOU Y H. Genetic iversity analysis of major agronomic traits of ginger germplasm resources[J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(6): 1693-1703. (in Chinese)
- [18] 董胜君, 孙永强, 陈建华, 卢彩云, 刘权钢, 刘立新. 野杏无性系表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(5): 1156-1166.
DONG S J, SUN Y Q, CHEN J H, LU C Y, LIU Q G, LIU L X. Phenotypic traits diversity analysis and comprehensive evaluation of *Armeniaca vulgaris* var. *ansu* clones[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(5): 1156-1166. (in Chinese)
- [19] 王晓磊, 康泽然, 魏云山, 刘迎春, 周学超, 胡海波, 李峰, 崔智慧, 杨志阁, 裴广利. 20 份小豆种质资源农艺性状鉴定与综合评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(2): 98-104.
WANG X L, KANG Z R, WEI Y S, LIU Y C, ZHOU X C,

- HU H B, LI F, CUI Z H, YANG Z G, PEI G L. Identification and comprehensive evaluation of agronomic traits of 20 *Vigna angularis* germplasm resources[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(2): 98-104. (in Chinese)
- [20] 胡一凡, 张雪梅, 徐绍忠, 杨生超, 杨志清. 云南草果种质资源的遗传多样性及亲缘关系的 SSR 分析[J]. 中草药, 2018, 49(22): 5388-5395.
- HU Y F, ZHANG X M, XU S Z, YANG S C, YANG Z Q. Analysis of genetic diversity and genetic relationship of *Amomum tsao-ko* germplasm resources in Yunnan by SSR markers[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(22): 5388-5395. (in Chinese)