

草果地理分布特征及表型变异分析

许倬卉^{1,2}, 杨绍兵¹, 杨天梅¹, 杨维泽¹, 王元忠¹, 张金渝¹

(¹ 云南省农业科学院药用植物研究所, 昆明 650200; ² 云南中医药大学中药学院, 昆明 650500)

摘要: 为合理开发和利用草果资源, 2019 年对云南、广西 7 个产地进行资源调查, 基于物种分布信息, 结合最大信息熵模型和地理信息系统分析其适宜产区, 同时对 57 份种质资源的 15 个果实及果穗性状进行评价。最大信息熵模型预测结果显示, 草果的地理分布范围为 99.1~112.8°E、20.5~30.4°N, 高度适生区面积为 $48.14 \times 10^4 \text{ km}^2$; 主要分布在云南、贵州、四川及广西西部; 各气候因子中, 6 月份降水量、温度季节性变化标准差、降水量季节性变异系数、年平均温度、10 月份的光照强度、最干月降水量对该物种的地理分布影响较大; 资源调查发现云南是草果的主产区, 产地包括滇东南、滇西北和滇西; 产地间生境差异大, 形成多种草果种植模式: (1) 尼泊尔栲木林 + 草果, (2) 杉木林 + 草果, (3) 核桃林、漆树林或喜树林 + 草果, (4) 混合原生林 + 草果; 草果表型数据分析显示, 其表型变异式样丰富, 15 个性状变异系数均值为 27.34%, 各性状中, 挥发油得率的变异系数最大 (53.54%), 果宽变异系数最小 (7.43%); 相关性分析表明, 果实、果穗等性状间相关性较强; 基于性状的聚类分析显示, 57 份资源可分为 7 类, 其中 I 类、III 类和 V 类包含不同的产地; 主成分分析显示, 前 5 个主成分累计贡献率达 80.53%, 可解释性状的大部分信息, 综合性状特征筛选出 18 份种质资源, 尤以怒江州贡山县的果实为佳。以上研究结果为揭示草果资源地理分布特征、合理规划种植区、筛选优质草果资源提供理论依据。

关键词: 草果; 资源调查; 地理分布; 表型性状

Analysis on Geographical Distribution and Phenotypic Variation of *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

XU Zhuo-hui^{1,2}, YANG Shao-bing¹, YANG Tian-mei¹, YANG Wei-ze¹,
WANG Yuan-zhong¹, ZHANG Jin-yu¹

(¹ Medicinal Plants Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650200;

² College of Traditional Chinese Medicine, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500)

Abstract: In order to develop and utilize *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié rationally, we investigated its resources in 7 of the production areas in Yunnan and Guangxi in 2019. Based on the species distribution information, combined with the maximum entropy model and GIS, the most suitable production areas were identified, and 15 fruits and spike traits of 57 accessions were evaluated. The results of maximum entropy model showed that the geographical distribution range of *A. tsaoko* Crevost & Lemarié was within 99.1-112.8°E, 20.5-30.4°N, with $48.14 \times 10^4 \text{ km}^2$ of optimal areas, mainly distributed in Yunnan, Guizhou, Sichuan and western Guangxi. Among the climatic factors, precipitation

收稿日期: 2021-01-26 修回日期: 2021-03-01 网络出版日期: 2021-04-01

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210126003>

第一作者主要从事中药栽培与开发, E-mail: zhxu2020@126.com

通信作者: 张金渝, 研究方向为中药资源与开发, E-mail: jy Zhang2008@126.com

杨绍兵, 研究方向为中药资源栽培, E-mail: 275681421@qq.com

基金项目: 云南省全国第四次中药资源普查; 2018 年云南省重大科技专项计划 (2018ZF010); 2019 年云南省重大科技专项计划 (2019ZG00903); 2020 年云南省农业科学院科技创新及成果转化试点专项 (202002AE320007-01)

Foundation projects: Fourth National Survey of Traditional Chinese Medicine Resources in Yunnan Province, Major Science and Technology Special Plan of Yunnan Province in 2018 (2018ZF010), Major Science and Technology Special Plan of Yunnan Province in 2019 (2019ZG00903), 2020 Yunnan Academy of Agricultural Sciences Science and Technology Innovation and Achievement Transformation Pilot Project (202002AE320007-01)

in June, standard deviation of seasonal variation of temperature, seasonal variation coefficient of precipitation, annual mean temperature, solar radiation in October, and precipitation in the driest month have greater effects on the geographical distribution of the species. In the resource survey it was found that Yunnan was the main production area of *A. tsaoko* Crevost & Lemarié, including southeast, northwest and west of the province; the habitat difference among the production areas was large, resulting in a variety of *A. tsaoko* Crevost & Lemarié planting patterns: (1) *Alnus nepalensis* D. Don forest + *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié; (2) *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. forest + *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié; (3) *Juglans regia* L. forest, *Camptotheca acuminata* Decne. forest, or *Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkley forest + *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié; (4) The mixed primeval forest + *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié. The phenotypic data analysis showed that the phenotypic variation patterns were rich, and the average variation coefficient of the 15 traits was 27.34%. Among all those traits, the variation coefficient of volatile oil yield was the largest (53.54%), and the variation coefficient of fruit width was the smallest (7.43%). The correlation analysis showed that there was a strong correlation between the fruit and spike characters. According to clustering analysis, the 57 resources were divided into seven groups, among which groups I, III and V class contained those from various origin. The principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first five principal components was 80.53%, which could explain most of the information of the characters. Based on the comprehensive characteristics, 18 outstanding accessions were selected, with from Gongshan County of Nujiang Prefecture having the best fruit. The above research results provide a theoretical basis for revealing the geographical distribution characteristics of *A. tsaoko* Crevost & Lemarié, rational planning of planting areas and screening high-quality resources.

Key words: *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié; resource investigation; geographical distribution; phenotypic traits

草果 (*Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié) 是姜科豆蔻属多年生草本植物, 分布于中国西南部和越南北部^[1]; 是山区的主要经济作物, 种植 3~4 年开始结果, 可持续采收 15 年^[2]。该物种喜阴怕旱, 栽培于稀疏的阔叶林下, 不占用良田, 充分利用自然资源, 是可持续发展的绿色经济产业^[3]。草果种植历史悠久, 400 年前由瑶族人民自越南引进, 种植于广西与云南, 随后云南西部的德宏、怒江等地开始引种^[4]。其果实药食同源, 常用作调味品增香去腥, 以种仁饱满, 香气较浓者为佳^[5]; 药用具有燥湿除寒, 祛痰截疟等功效, 《中国药典》(2020 版) 规定挥发油为评价指标^[6]。

近年来, 草果价格居高不下, 可观的经济收入导致人们盲目种植, 出现植株生长旺盛、不开花结果, 果实较小、结果率低等现象, 制约草果资源的开发利用^[7]。因此, 应全面调查草果资源现状, 分析其地理分布特征, 收集种质资源, 规范种植区域, 为可持续发展草果产业提供科学依据。

种质资源是遗传改良和其他研究的基础, 开展资源调查、收集及表型性状鉴定是筛选优质资源的前提^[8]。本研究在 2019 年 7-11 月对云南、广西两省 (16 个地区) 的草果种植情况进行系统调查, 共收集 57 份资源。通过建立最大熵 (MaxEnt) 模型,

划分该物种的适宜产地, 预测其潜在分布区域, 分析草果适宜生长环境; 对新鲜果实的果长、果宽、干果挥发油得率等 15 个性状进行相关性分析、聚类分析和主成分分析; 旨在探寻各性状间的关系, 筛选出优异的种质资源, 为草果资源的深入挖掘和高效利用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验所用草果样品均由调查人员于 2019 年对云南、广西的区县进行系统调查所获得, 共计 57 份材料 (表 1)。调查路线为: (A) 昆明—文山—富宁—麻栗坡—那坡—马关—绿春—金平—屏边; (B) 昆明—芒市—保山—腾冲—龙陵—泸水; (C) 昆明—福贡—贡山。

1.2 试验方法

1.2.1 建立最大熵模型 MaxEnt 模型基于最大熵原理来模拟物种的潜在分布, 根据已知的地理分布点以及对应的环境因子, 构成未知分布的约束条件, 通过算法计算出物种分布概率的最大熵, 预测分布区的适宜度^[9]。草果的地理分布点主要来源于: 野外调查、中国数字植物标本馆 (<http://www.cvh.org>).

表 1 本研究采集的草果资源信息
Table 1 Information of *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié in this study

序号 Code	采集编号 Collection No.	产地 Origin	果实类型 Fruit type	鲜果颜色 Color of fresh fruit	序号 Code	采集编号 Collection No.	产地 Origin	果实类型 Fruit type	鲜果颜色 Color of fresh fruit
1	NJ4301	怒江州	圆球型	暗紫色	30	NJ4323	怒江州	圆球型	暗紫色
2	NJ4302	怒江州	圆球型	暗紫色	31	NJ4325	怒江州	圆球型	暗紫色
3	NJ4303	怒江州	圆球型	暗紫色	32	NJ4328	怒江州	圆球型	暗紫色
4	NJ4304	怒江州	圆球型	暗紫色	33	NJ4330	怒江州	圆球型	暗紫色
5	NJ4305	怒江州	圆球型	暗紫色	34	NJ4332	怒江州	圆球型	暗紫色
6	NJ4408	怒江州	圆球型	暗紫色	35	NJ4313	怒江州	圆球型	暗紫色
7	NJ4410	怒江州	卵圆型	紫红色	36	NJ4314	怒江州	长果型	红棕色
8	NJ4414	怒江州	卵圆型	紫红色	37	NJ4316	怒江州	长果型	红棕色
9	NJ4418	怒江州	卵圆型	紫红色	38	NJ4312	怒江州	圆球型	暗紫色
10	NJ4422	怒江州	卵圆型	紫红色	39	NJ4110	怒江州	纺锤型	红棕色
11	NJ4425	怒江州	卵圆型	紫红色	40	WS0001	文山州	纺锤型	红棕色
12	NJ4401	怒江州	卵圆型	紫红色	41	WS0002	文山州	纺锤型	红棕色
13	NJ4402	怒江州	卵圆型	紫红色	42	WS0005	文山州	纺锤型	红棕色
14	NJ4310	怒江州	圆球型	红棕色	43	WS0006	文山州	纺锤型	红棕色
15	NJ4315	怒江州	长果型	红棕色	44	WS0010	文山州	纺锤型	红棕色
16	NJ4204	怒江州	圆球型	红棕色	45	HH0012	红河州	纺锤型	红棕色
17	NJ4205	怒江州	圆球型	红棕色	46	HH0016	红河州	纺锤型	红棕色
18	NJ4206	怒江州	圆球型	红棕色	47	HH0023	红河州	纺锤型	红棕色
19	NJ4215	怒江州	圆球型	红棕色	48	HH0025	红河州	纺锤型	红棕色
20	NJ4220	怒江州	圆球型	红棕色	49	HH0030	红河州	纺锤型	红棕色
21	NJ4223	怒江州	圆球型	红棕色	50	DH0012	德宏州	纺锤型	红棕色
22	NJ4224	怒江州	圆球型	红棕色	51	BS0003	保山市	纺锤型	红棕色
23	NJ4105	怒江州	纺锤型	浅褐色	52	BS0009	保山市	纺锤型	红棕色
24	NJ4106	怒江州	纺锤型	浅褐色	53	BS0013	保山市	纺锤型	红棕色
25	NJ4107	怒江州	纺锤型	浅褐色	54	BS0019	保山市	纺锤型	红棕色
26	NJ4115	怒江州	纺锤型	浅褐色	55	BS0021	保山市	纺锤型	红棕色
27	NJ4120	怒江州	纺锤型	浅褐色	56	LC0013	临沧市	纺锤型	红棕色
28	NJ4121	怒江州	纺锤型	浅褐色	57	GX0003	百色市	纺锤型	红棕色
29	NJ4320	怒江州	圆球型	暗紫色					

cn/) 的标本信息、全球生物多样性信息网络 (GBIF, <https://www.gbif.org/>) 的分布记录以及相关文献资料中记载的地理分布信息^[10]。剔除精度不足的地理分布位点, 共计 57 个有效位点^[11]。本研究从世界气候数据库 (WorldClim v2.0, <http://www.worldclim.org/>) 提取 2000 年的 19 个生物气候因子和每月的降水量、温度及 10 月份的光照强度^[12]。由于气候因子之间坐标信息、栅格分辨率等属性不一致, 使用地理信息系统 ArcGIS10.2 统一地理坐标系为 WGS 1984; 提取建模区域的环境因子图层, 转变为 ASCII 格式; 利用 SPSS 25.0 中 Pearson 相关性分析, 筛选出相关性系数小于 0.8 的气候变量, 消除多重共线性对模型的冗余影响 (表 2)^[13]。

表 2 20 个用于草果潜在适宜分布模拟的气候因子

Table 2 20 environmental variables used for modeling potential suitable distribution of *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

环境变量 Environmental variables	代号 Code
年均温 Mean annual temperature	bio1
昼夜温差月均值 Mean diurnal range (Mean of monthly (max temperature – min temperature))	bio2
等温性 Isothermality	bio3
温度季节性变化标准差 Standard deviation of temperature seasonality	bio4
最暖月最高温 Max temperature of warmest month	bio5
最暖季均温 Mean temperature of warmest quarter	bio10
年降水量 Annual precipitation	bio12
最湿月降水量 Precipitation of wettest month	bio13
最干月降水量 Precipitation of driest month	bio14
降水量季节性变异系数 Coefficient of variation of precipitation seasonality	bio15
最冷季降水量 Precipitation of coldest quarter	bio19
5 月份降水量 Precipitation in May	pre5
6 月份降水量 Precipitation in June	pre6
9 月份降水量 Precipitation in September	pre9
10 月份降水量 Precipitation in October	pre10
11 月份降水量 Precipitation in November	pre11
12 月份降水量 Precipitation in December	pre12
6 月份的光照强度 Solar radiation in June	srad6
7 月份的光照强度 Solar radiation in July	srad7
10 月份的光照强度 Solar radiation in October	srad10

将 57 个地理分布数据点和筛选后的气候因子导入 MaxEnt v3.3.3 中。ROC 曲线下面积 (AUC, area under curve) 代表模型模拟的准确性, 取值越接近 1, 模型准确性越高^[14-15]。同时, 用 MaxEnt v3.3.3 软件自带的 Jackknife 检验并确定各环境变量对草果分布的贡献。ArcGIS v10.2 对 MaxEnt 模拟结果进行可视化, 设定物种出现概率 0.75~1.0 为草果最适宜生长区、0.50~0.75 为中度适宜生长区、0.25~0.50 为低度适生区、0.05~0.25 为边缘区、小于 0.05 为不适生区, 计算各个适生区分布面积^[16]。

1.2.2 测定表型性状 每份草果资源选取 20~30 个 10 月份采集的新鲜果实, 用游标卡尺 (精度 0.01 mm) 测量其果长、果宽、穗长、穗宽, 用电子天平 (精度 0.01 g) 称量单个鲜果重、果壳厚度、果壳重量、种仁重量、单穗果实重量、穗重、单穗总重, 试验人员测定种仁个数、单穗果实个数、花序个数。

1.2.3 提取果实挥发油 将洗净的新鲜果实, 50 ℃ 低温干燥至恒重。粉碎至 40 目, 精密称取 100 g, 置 2000 mL 的圆底烧瓶中, 加 8 倍量水, 参照 2020 年《中国药典》(通则 2204 水蒸气蒸馏法) 提取总挥发油。提取完成后加入无水硫酸钠, 密封, 置于 4 ℃ 冰箱中保存, 并根据公式计算得油率 (mL/g), 得油率 = 提取所得挥发油体积 / 种仁质量。

1.3 数据统计与分析

试验数据用 SPSS 25.0 计算各性状的标准差 (S)、均值 (X)、变异系数 (CV) 等。其次, 综合果实性状与挥发油得率, 进行草果品质评价。利用变异系数衡量品质性状间的离散程度, 相关性分析和聚类分析评价性状间相关性, 利用 R 语言中的 “procomp” 包进行主成分分析, 并对综合因子进行得分排名, 筛选优异资源。

2 结果与分析

2.1 草果地理分布的历时变化

宋朝时期《宝庆本草折衷》^[17]和《竹洲集·邕州化外诸国土俗记》分别记载草果产于广西与南宋邕州接壤的西南番等诸国 (今云南东部、贵州西部、广西西部及越南西北部)。明代《本草纲目》明确草果为滇、广所产^[18]。民国《新纂云南通志》详细记

录云南西南(即今云南德宏、保山、临沧等地),以及麻栗坡、广南、永善亦产;《药物出产辨》中记载越南北部草果颇丰,引入国内作为调味品使用^[19]。现代《中国植物志》第16卷第3册中草果产于云南、贵州、广西等省^[20]。

2.2 草果种植现状

目前,草果在云南的种植面积最广,种植区域包括红河州、文山州、德宏州、保山市、怒江州及临沧市,大致分为滇东南、滇西、滇西北3个区域,各地所产的果实类型及颜色均有差异,如表1所示。滇东南分布区主要有红河、文山州;生长在与越南接壤的西南部横断山纵谷的哀牢山区,以及与我广西壮族相邻的东部岩溶高原区,属于亚热带、暖温带气候类型,冬无严寒、夏无酷暑、降雨充沛。滇西分布点集中在德宏、临沧、保山;该区地处云贵高原与横断山脉南段的结合部,山川相间排列,地貌以山地为主,河流纵横,金沙江、怒江、澜沧江穿境而过;属于南亚热带以及中亚热带季风气候。滇西北分布区在怒江州,该区地处青藏高原的南延部分,属于著名的横断山地段;地形复杂,峡谷、河流纵向分布,属于温带、亚热带季风气候,气候垂直变化显著、立体气候突出。由于地形和海拔的变化,导致各产区气候差异显著,植被类型各具特征,但互有交错^[21-22],形成不同的生态种植模式,如图1所示:(1)尼泊尔栎木林+草果是最为普遍的一种模式,主要分布在怒江、文山及金平和临沧等地;(2)杉木林+草果较为常见,主要分布在文山及金平等滇南地区;(3)核桃林、漆树林或喜树林+草果是怒江独有且较常见的一种模式;(4)混合原生林+草果主要分布在怒江、金平、腾冲等植被条件较好的地方,大多草果种植在原生林下。

2.3 模型预测结果

2.3.1 草果适宜产区 从MaxEnt模型预测当前潜在分布的AUC值(0.998)来看,草果的模拟结果准确、可信度较高。如图2所示,其适生区主要分布在我国西南亚热带地区,面积为 $86.27 \times 10^4 \text{ km}^2$,范围为 $99.1 \sim 12.8^\circ \text{E}$ 、 $20.5 \sim 30.4^\circ \text{N}$,具体包括云南、贵州、四川、广西西部。高度适生区面积为 $48.14 \times 10^4 \text{ km}^2$,范围为 $100.2 \sim 106.5^\circ \text{E}$ 、 $22.8 \sim 26.7^\circ \text{N}$,主要分布于怒江(泸水、福贡、贡山等县市)、文山(马关、



A: 尼泊尔栎木林+草果; B: 杉木林+草果;
C: 核桃林+草果; D: 混合原生林+草果

A: *Alnus nepalensis* D. Don forest+*Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié, B: *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. forest+*Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié, C: *Juglans regia* L. forest+*Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié, D: The mixed primeval forest+*Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

图1 草果不同生态种植模式

Fig.1 The different ecological planting models of *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

麻栗坡、西畴等县)和红河(绿春、屏边、元阳等县);贵州西部(黔西南、六盘水、安顺等县市);广西河池等。中度适生区包含云南(德宏、临沧、普洱、玉溪等州市)、贵州(贵阳、毕节等市)、四川省有零星分布。

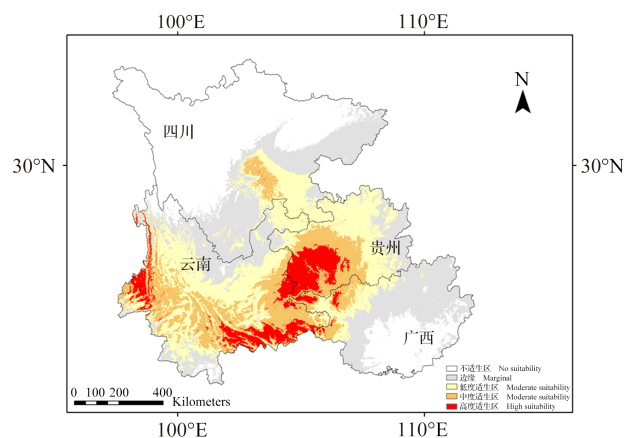


图2 草果潜在适宜生长区

Fig.2 Potential suitable distribution of *A. tsaoko* Crevost & Lemarié

2.3.2 气候因子贡献率 MaxEnt模型中刀切检验确定6月份降雨、温度季节性变化标准差、降水量季节性变异系数、年均温、10月份的光照强度、最干月降水量是影响草果分布的主要环境变量,其总贡献率为89.9%(表3),与其喜湿怕旱、喜阴惧强光的生长习性一致。

表 3 影响草果潜在适宜分布的主要环境变量
Table 3 Dominant environmental variables for potential suitable distribution growing areas suitable for *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

代号 Code	贡献率(%) Contribution rate	累计贡献率(%) Accumulated contribution rate
pre6	57.2	57.2
bio4	9.8	67.0
bio15	8.9	75.9
bio1	5.6	81.5
sred10	4.4	85.9
bio14	4.0	89.9

2.4 表型性状与变异性分析

草果果实果长、果宽、挥发油得率等 15 个性状如表 4 所示, 57 份资源性状的变异系数在 7.43%~53.54% 之间, 均值为 27.34%。变异系数较大的是挥发油得率(53.54%) 和单穗果实个数(50.69%); 较小的有果宽(7.43%)、果长(13.36%)、花序个数(15.96%)、单个鲜果重(16.69%)、穗长(17.27%)、种仁重量(18.28%)、穗宽(19.03%)、种仁个数

(19.93%), 表明这些性状指标具有相对稳定的遗传性。

2.5 相关性分析

果实性状间的相关程度较高, 如果长与单个鲜果重、种仁重量呈极显著正相关; 果宽与单个鲜果重、果壳的厚度及重量、种仁重量呈极显著正相关。果穗性状中的穗长与穗宽、单穗果实个数、单穗总重、穗重、单穗果实重量呈极显著正相关(表 5), 表明果穗各性状间相互影响较大。

2.6 聚类分析

聚类分析基于 15 个表型性状, 在平方欧式距离为 13.50 时, 将 57 份资源样品分为 7 类(图 3)。Ⅰ类包含广西及滇西、滇东南的部分地区; Ⅱ类仅有怒江州贡山县 1 个乡镇; Ⅲ类中包含滇西北和滇东南; Ⅳ类仅有滇西北地区; Ⅴ类包括滇东南、滇西、滇西北; Ⅵ类仅有德宏芒市; Ⅶ类包含怒江州贡山县的 2 个乡镇。

2.7 主成分分析

草果资源的 15 个性状及挥发油得率可分为 5 个主成分, 累计贡献率为 80.527%, 即解释大部分

表 4 草果资源性状统计分析
Table 4 Statistical analysis of traits of *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

性状 Traits	最小值 Min.	最大值 Max.	极差 Range	均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV
果长(mm) Flower length	25.33	48.56	23.23	34.84	4.65	13.36
果宽(mm) Flower width	22.10	31.52	9.42	26.35	1.96	7.43
单个鲜果重(g) Single fresh fruit weight	7.88	19.90	12.02	13.09	2.22	16.96
种仁个数 Number of seeds per fruit	22.00	55.00	33.00	39.00	8.00	19.93
果壳厚度(mm) Fruit hull thickness	1.59	5.56	3.97	2.92	0.64	21.79
果壳重量(g) Fruit hull weight	2.84	11.52	8.69	6.69	1.54	22.99
种仁重量(g) Seeds weight per fruit	2.80	7.24	4.44	5.27	0.96	18.28
穗长(mm) Spike length	52.41	135.77	83.36	99.95	17.26	17.27
穗宽(mm) Spike width	34.50	119.81	85.31	85.38	16.25	19.03
单穗果实个数 Number of fruits per spike	2.00	56.00	54.00	18.00	9.00	50.69
单穗总重(g) Total spikes weight	23.20	454.67	431.47	239.67	113.56	47.38
穗重(g) Spike weight	9.40	57.50	48.10	27.69	10.29	37.14
单穗果实重量(g) Fruits weight per spike	13.80	409.40	395.60	216.73	104.74	48.33
花序个数 Number of flowers per spike	50.00	103.00	53.00	79.00	13.00	15.96
挥发油得率(mL/g) Extraction rate of volatile oil	0.10	0.91	0.80	0.38	0.20	53.54

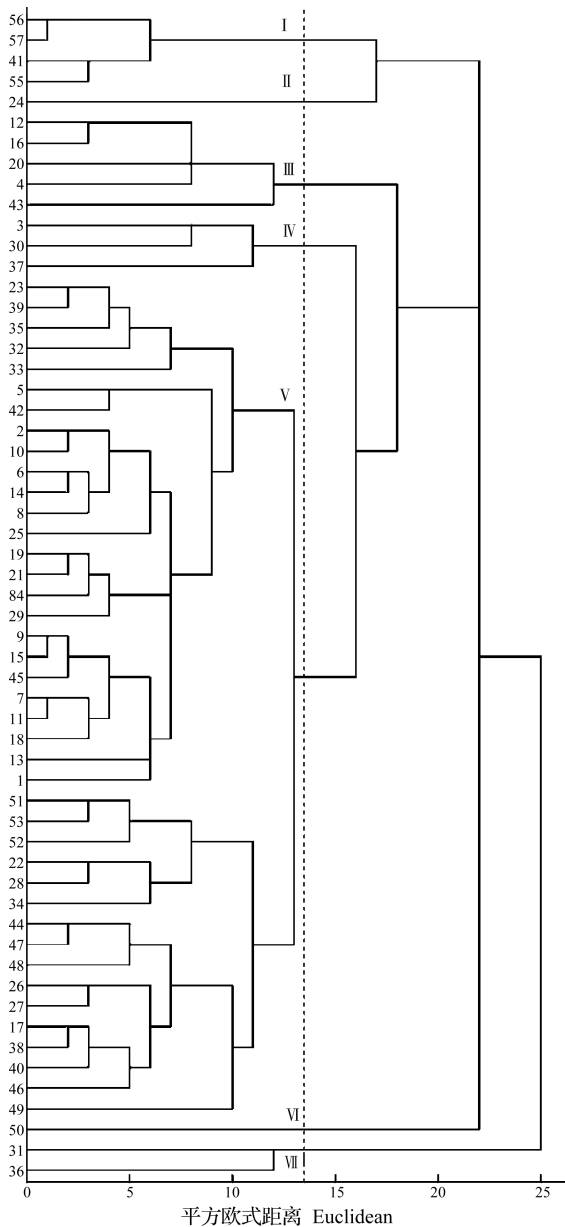
表 5 相关性分析

Table 5 The correlation analysis of *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

性状 Trait	果长 Fruit length	果宽 Fruit width	单个果实 重量 Single fruit weight	种仁个数 No. of seeds per fruit	果壳厚度 Fruit hull thickness	果壳重量 Fruit hull weight	种仁重量 Seeds weight per fruit	穗长 Spike length	穗宽 Spike width	单穗果实 个数 No. of fruits per spike	单穗总重 Total spikes weight	穗重 Spike weight	单穗果实 重量 Fruits weight per spike	花序个数 No. of flowers per spike	挥发油 得率 Extraction rate of volatile oil
果长 Fruit length	1.000														
果宽 Fruit width	-0.047	1.000													
单个鲜果重 Single fruit weight	0.372**	0.580**	1.000												
种仁个数 No. of seeds per fruit	0.290*	0.285*	0.217	1.000											
果壳厚度 Fruit hull thickness	0.252	0.485**	0.491**	-0.201	1.000										
果壳重量 Fruit hull weight	0.331*	0.633**	0.812**	0.134	0.546**	1.000									
种仁重量 Seeds weight per fruit	0.385**	0.539**	0.527**	0.619**	0.188	0.307*	1.000								
穗长 Spike length	0.142	0.050	-0.076	-0.042	0.132	0.015	-0.017	1.000							
穗宽 Spike width	0.204	-0.075	-0.135	-0.005	0.034	-0.066	0.026	0.697**	1.000						
单穗果实个数 No. of fruits per spike	0.049	0.017	-0.180	0.135	-0.014	-0.075	-0.003	0.639**	0.650**	1.000					
单穗总重 Total spikes weight	0.107	0.092	-0.029	0.060	0.056	0.109	0.012	0.712**	0.720**	0.890**	1.000				
穗重 Spike weight	-0.061	0.214	0.017	-0.128	0.194	0.127	-0.083	0.585**	0.594*	0.582**	0.781**	1.000			
单穗果实重量 Fruits weight per spike	0.092	0.090	-0.028	0.064	0.027	0.110	-0.005	0.713**	0.699*	0.893**	0.993**	0.760*	1.000		
花序个数 No. of flowers per spike	0.076	0.168	0.205	0.176	0.032	0.077	0.122	0.068	-0.100	0.120	0.144	0.234	0.153	1.000	
挥发油得率 Extraction rate of volatile oil	0.282*	-0.080	0.244	-0.073	0.101	0.147	-0.017	-0.033	0.036	-0.138	-0.066	-0.061	-0.058	0.015	1.000

* 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关

* Significantly correlated at the 0.05 level, ** Significantly correlated at the 0.01 level



图中左侧序号与表 1 一致

The code on the left of the figure is consistent with table 1

图 3 57 份草果资源基于 15 个性状的聚类分析

Fig.3 Cluster analysis of 57 accessions of

Amomum tsaoko Crevost & Lemarié based on 15 traits

性状信息(表 6)。第 1 主成分主要与果穗的性状相关,最大的成分载荷为单穗果实重量,其次是单穗总重、单穗果实个数、穗长、穗宽、穗重,特征值为 4.707,贡献率为 31.382%。第 2 主成分解释果实性状,成分载荷较大的是单个鲜果重以及果壳重量,特征值为 3.417,贡献率为 22.778%。第 3 主成分与种仁个数有关,特征值为 1.627,贡献率为 10.847%。第 4 主成分与挥发油得率相关,特征值为 1.298,贡献率为 8.656%。第 5 主成分与花序个数有关,特征值为 1.030,贡献率为 6.864%。

表 6 主成分分析

Table 6 Principal component analysis

性状 Traits	主成分 Principal component				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
果长 Fruit length	0.225	0.439	0.467	0.557	0.033
果宽 Fruit width	0.190	0.727	-0.313	-0.440	-0.050
单个鲜果重 Single fruit weight	-0.014	0.911	-0.153	0.130	-0.061
种仁个数 Number of seeds per fruit	0.109	0.506	0.746	-0.211	-0.047
果壳厚度 Fruit hull thickness	0.124	0.460	-0.553	0.119	-0.023
果壳重量 Fruit hull weight	0.085	0.801	-0.303	0.071	-0.138
种仁重量 Seeds weight per fruit	0.145	0.773	0.407	-0.091	-0.092
穗长 Spike length	0.813	-0.114	-0.098	0.125	-0.057
穗宽 Spike width	0.804	-0.177	0.037	0.280	-0.182
单穗果实个数 Number of fruits per spike	0.861	-0.166	0.196	-0.142	-0.017
单穗总重 Total spikes weight	0.955	-0.087	0.017	-0.026	0.018
穗重 Spike weight	0.803	-0.001	-0.317	-0.103	0.111
单穗果实重量 Fruits weight per spike	0.963	-0.081	0.007	-0.024	0.014
花序个数 Number of flowers per spike	0.173	0.197	0.078	-0.340	0.850
挥发油得率 Extraction rate of volatile oil	-0.057	0.185	-0.105	0.681	0.469
特征值 Eigenvalue	4.707	3.417	1.627	1.298	1.030
贡献率(%) Contribution rate	31.382	22.778	10.847	8.656	6.864
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	31.382	54.160	65.007	73.663	80.527

2.8 综合评价

计算出 5 个主成分因子 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 及 F_5 的贡献率权重(38.97%、28.29%、13.47%、10.75%、8.52%)得出性状综合得分公式 $F^{[23-24]}$: $F=0.39F_1+0.28F_2+0.13F_3+0.11F_4+0.09F_5$ 。

依据上述公式,计算出 57 份样品的性状综合得分,分值越大表示性状综合良好。取得分 >1 的作为优质性状资源,如表 7 所示。

表 7 筛选的优异草果资源
Table 7 Selected excellent resources of *Amomum tsaoko* Crevost & Lemarié

采集编号 Collection No.	果长 (mm) Fruit length	果宽 (mm) Fruit width	单个鲜果 重(g) Single fruit weight	种仁个 数 No. of seeds per fruit	果壳厚度 (g) Fruit hull thickness	果壳重 量(g) Fruit hull weight	种仁重 量(g) Seeds weight per fruit	穗长 (mm) Spike length	穗宽 (mm) Spike width	单穗果实 个数 No. of fruits per spike	单穗总重 (g) Total spikes weight	穗重(g) Spike weight	单穗果实 重量(g) Fruits weight per spike	花序个数 No. of flowers per spike	挥发油得 率(mL/g) Extraction rate of volatile oil
NJ4314	45.37	29.46	12.65	52.50	2.92	6.50	6.15	122.40	117.50	55.00	443.57	29.00	387.43	103.20	0.29
NJ4106	36.99	31.52	19.90	46.70	3.64	11.52	7.24	101.57	102.83	13.60	290.48	44.36	246.00	73.40	0.27
NJ4328	37.08	28.24	16.26	41.00	3.46	9.25	6.25	110.98	103.57	19.00	367.63	57.50	309.23	92.00	0.44
NJ4325	32.73	29.72	11.20	42.50	3.40	4.70	6.50	111.70	90.83	43.00	454.67	48.80	409.40	76.50	0.17
NJ4105	31.37	28.24	14.90	34.00	3.04	7.99	5.41	109.74	99.65	24.40	443.10	45.36	397.36	90.20	0.61
NJ4310	35.94	24.02	10.82	39.25	1.93	5.05	4.65	89.60	84.51	19.00	250.55	29.45	220.50	79.50	0.31
NJ4410	34.36	26.39	14.62	48.60	3.07	7.82	5.99	111.68	94.93	29.80	393.84	29.64	363.52	86.40	0.19
NJ4110	37.21	26.26	13.78	36.15	3.50	7.53	5.69	106.49	87.69	22.00	410.20	39.00	371.20	81.00	0.61
NJ4316	48.56	22.87	12.37	42.75	2.46	7.36	4.53	106.49	87.69	22.00	410.20	39.00	371.20	81.00	0.57
NJ4305	42.00	24.65	14.59	40.65	2.23	6.72	6.69	135.77	98.52	19.00	288.00	25.67	261.93	86.33	0.30
WS0005	40.73	26.56	14.66	55.00	3.13	7.17	6.35	132.04	88.05	19.73	215.86	18.62	197.25	89.00	0.42
NJ4313	31.74	28.15	14.80	26.00	4.15	8.60	4.60	103.46	104.78	21.00	406.00	41.80	363.00	90.00	0.41
NJ4215	37.14	26.84	12.62	43.63	2.71	6.69	5.09	123.81	98.59	24.20	315.50	39.12	310.08	66.40	0.57
NJ4402	29.49	28.67	13.51	40.55	3.63	7.87	4.67	120.26	96.26	34.00	353.63	31.86	321.43	75.71	0.10
NJ4223	35.30	25.06	12.82	39.70	2.84	7.01	5.19	121.68	108.08	23.00	344.72	23.24	321.32	74.00	0.63
NJ4330	38.39	25.18	13.78	38.00	3.30	6.10	3.80	109.51	100.06	18.00	274.31	43.30	248.31	99.50	0.67
NJ4315	33.73	27.31	13.65	49.35	3.18	6.81	6.05	107.42	85.99	20.60	242.24	30.40	211.64	94.80	0.22
BS0009	38.61	28.10	15.38	29.40	3.42	8.34	5.68	105.51	93.35	13.14	177.71	30.63	146.74	92.86	0.91

优异资源集中在怒江州贡山县,共计 13 份。编号 NJ4314、NJ4316 及 NJ4313 采于茨开镇,果型分为长果和卵圆型,单穗果实个数 21~55 个,结果较多,挥发油得率 0.29~0.57 mL/g,含油量较高。编号 NJ4106、NJ4105 及 NJ4110 采集于嘎啦博村,果实为圆球型,单穗果实个数 13~22 个,每穗结果均匀,挥发油得率 0.27~0.61 mL/g,含油量较高。编号 NJ4328、NJ4325 及 NJ4330 的采集地在独龙江乡,果实为圆球型,单穗果实个数 18~43 个,结果偏多,挥发油得率 0.17~0.67 mL/g,含油量较多。编号 NJ4310、NJ4410、NJ4402 及 NJ4315 采集于普拉底乡,果实为圆球型和长果型,单穗果实个数 19~34 个,每穗果实密集,挥发油得率 0.10~0.31 mL/g,含油量适中。

福贡县的优异资源有 3 份,编号 NJ4305 采于石月亮乡,果实为纺锤型,单穗果实个数为 19 个,结果均匀,挥发油得率 0.30 mL/g,含油量适中。编号 NJ4215 采集于鹿马登乡,果实为纺锤型,单穗果实个数为 24 个,结果均匀,挥发油得率 0.57 mL/g,含油量较高。NJ4223 采集于马吉乡,果实为纺锤型,单穗果实个数为 23 个,结果均匀,挥发油得率 0.63 mL/g,含油量较高。

文山州马关县的优异资源编号为 WS0005,该地果实偏大,呈纺锤型,单穗果实个数为 19 个,结果均匀,挥发油得率 0.42 mL/g,含油量适中。编号 BS0009 采集于保山市昌宁县,果实较大,呈纺锤型,单穗果实个数为 13,结果均匀,挥发油得率 0.91 mL/g,含油量极高。

3 讨论

据最新版《道地药材·云南草果》记载,草果分布在云南怒江、红河、文山、德宏、保山等地的边境山区^[25]。怒江州是“三区三州”的深度贫困州之一,为实现脱贫攻坚,当地大力推广种植草果,经过多年的发展,该州的种植面积和产量已超过其他产地,成为最新的草果种植中心,也是全国商品草果的主要供应地^[26]。因此,此次调查工作的重心集中在怒江州,对滇西、滇东南和广西等产地则进行常规的系统调查。本研究基于实地考察与文献记载,筛选有效的草果地理分布点,利用 MaxEnt 模型预测其潜在分布区,模型预测结果较为精确,可为生产种植提供参考。该物种的高度适生区为云南西部、东南部及广西北部,与实际种植区相吻合,均为适宜草果生长的区域;贵州西部作为潜在分布区,实际调查未发

现分布或种植,从适宜性的角度考虑,可适当引种。

草果的分布与生长环境密切相关,MaxEnt 模型中刀切实验结果显示,影响其生长的气候因子为 6 月份降水、温度季节性变化标准差、降水量季节性变异系数、年均温、10 月份的光照强度和最干月降水量。该物种属于亚热带植物,喜冬暖夏凉的林下气候条件,适宜生长年均温为 16~22 °C^[7]。根据野外调查,花期(6~7 月)的授粉与降水、温度密切相关,若花期降水过多,花腐烂掉落,温度过高,花则干枯凋零,均无法完成授粉;冬季应温暖少雨,避免植株受冻,影响来年开花、结果;光照对草果植株生长有较强的影响,强烈的直射光使其叶片枯黄,郁闭度过大导致植株矮小、生长稀疏,光照强度影响该植物的光合作用和生长代谢,过强或过弱都会使其生长受阻^[27]。综上,该物种适宜的生境为干湿季分明、气温年较差小、夏季湿润、冬季干旱少雨的温带、亚热带地区,生长在树林稀疏的常绿阔叶、常绿落叶混交林下及湿度较大的阴坡、沟谷边,对环境要求极高。因此,在引种时,应综合考虑选址地是否满足以上条件,避免造成土地浪费和经济损失。

植物表型变异在某种程度上反映遗传变异的大小及适应生境的能力,表型性状是分析物种变异最直观、简易的方法^[28]。前人研究发现草果包含卵圆形、纺锤形、球形 3 种果型,其果实的果长、种仁个数差异显著^[29]。此次扩大草果资源调查范围,选取相同成熟度的样品,依据《中国药典》进行低温干燥、提取果实挥发油,增加果穗性状和挥发油得率等指标,对果实表型变异进行深入研究。15 个性状特征显示,变异系数在 7.43%~53.54% 之间,表明不同居群、个体间的性状均存在一定程度的变异,甚至同一植株上的性状也出现差异,其中挥发油得率、单穗果实个数的变异系数较大,推测其离散程度与气候差异有关。相关性分析发现,品质指标挥发油得率与果长显著相关,具有经济效益的果实、种仁等性状间呈显著性或极显著相关。本研究将草果资源分为 7 类,Ⅰ类、Ⅲ类、Ⅴ类为全区域分布型,与 SRAP 分子标记法所分结果一致,不同遗传性状的草果分散在各类群中^[30];专化区域分布型(Ⅱ类、Ⅵ类)、局部区域分布型(Ⅳ类、Ⅶ类)呈现地理划分,表明特异遗传材料需种植在特定环境中。草果的种质来源地基本相同,在引种到其他区域时,形成特异性、局部适应性的品种资源,出现资源混乱的现象,与高粱^[31]等研究结果类似。种质资源涉及品质与产量,通过综合性状得分筛选出 18 种优良草果资源,

均符合《中药材商品规格等级·草果》中选货的标准^[32], 包含马关、昌宁、福贡、贡山县, 其中怒江州所占比例较大, 最优资源在贡山县茨开镇, 其次为普拉底乡、独龙江乡、福贡马吉乡及鹿马登乡。该州所产优质果实, 在脱贫攻坚中发挥着重要作用, 已成为边疆少数民族主要的经济支柱, 对稳定边疆具有战略性意义^[3]。

根据本研究结果, 草果具有特定的生长环境, 各地种质资源变异丰富, 具有较高的利用价值和改良空间。建议可在优质种源地建立种质资源库, 繁育优质种苗, 以期草果的合理种植以及种质资源开发提供科学依据, 为资源评价和选育工作奠定基础。

参考文献

- [1] 郭靖琦, 王慷林, 刘广福, 王雨华. 草果种植对植物多样性的影响. 广西植物, 2010, 30(6): 844-849
Guo J Q, Wang K L, Liu G F, Wang Y H. Effects of *Amomum tsao-ko* planting on plant diversity. Guangxi plant, 2010, 30(6): 844-849
- [2] 杨志清, 胡一凡, 依佩瑶, 杨荣恋, 周德丽. 云南草果种植区域调查及生态适宜性气候因素分析. 中国农业资源与区划, 2017, 38(12): 178-186
Yang Z Q, Hu Y F, Nong P Y, Yang R L, Zhou D L. Investigation of planting area and climate factors analysis of ecological suitability of *Amomum tsao-ko* in Yunnan. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(12): 178-186
- [3] 沈绍斌. 云南: 草果特色产业发挥扶贫大作用. 中国农村科技, 2020(7): 42-43
Shen S B. Yunnan: characteristic industries of *Amomum tsao-ko* play a great role in poverty alleviation. China Rural Science and Technology, 2020(7): 42-43
- [4] 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. 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. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(22): 5388-5395
- [5] 吴桂苹, 谷凤林, 朱科学, 李云堂, 李昌应, 房一明. 云南怒江草果的微波无溶剂萃取及其挥发性风味物质的 GC-TOF-MS 分析. 中国调味品, 2020, 45(1): 172-179
Wu G P, Gu F L, Zhu K X, Li Y Y, Li C Y, Fang Y M. Microwave solvent-free extraction of *Amomum tsao-ko* from Nujiang in Yunnan and GC-TOF-MS analysis of volatile flavor compounds. China Condiments, 2020, 45(1): 172-179
- [6] 国家药典编委会. 中国药典: 一部. 北京: 中国医药科技出版, 2020: 84, 492
State Pharmacopoeia Editorial Board. Chinese Pharmacopoeia: Volume 1. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2020: 84, 492
- [7] 刘永国, 陈宏, 塘颖, 依时增. 文山州草果种质资源及其生境调查. 西部林业科学, 2017, 46(5): 106-112, 126
Liu Y G, Chen H, Tang J, Nong S Z. Investigation on the germplasm resource of *Amomum tsao-ko* and its habitat in Wenshan Prefecture. Journal of West China Forestry Science, 2017, 46(5): 106-112, 126
- [8] Sun W, Yuan X, Liu Z J, Lan S, oi W C, Zou S Q. Multivariate analysis reveals phenotypic diversity of *Euscaphis japonica* population. PLoS ONE, 2019, 14(7): e0219046
- [9] Janitz S, Strobl C, Boulesteix A L. An AUC-based permutation variable importance measure for random forests. BMC Bioinformatics, 2013, 14: 119
- [10] Phillips S J, Miroslav D. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography, 2008, 31(2): 161-175
- [11] Duflo R, Avon C, Roche P. Combining habitat suitability models and spatial graphs for more effective landscape conservation planning: An applied methodological framework and a species case study. Journal for Nature Conservation, 2018, 46: 38-47
- [12] Fick S E, Hijmans R J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 2017, 37(12): 4302-4315
- [13] Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 2010, 25(15): 1965-1978
- [14] 庄鸿飞, 张殷波, 王伟, 任月恒, 刘方正, 杜金鸿, 周越. 基于最大熵模型的不同尺度物种分布概率优化热点分析: 以红色木莲为例. 生物多样性, 2018, 26(9): 931-940
Zhuang H F, Zhang Y B, Wang W, Ren Y H, Liu F Z, Du J H, Zhou Y. Optimized hot spot analysis for probability of species distribution under different spatial scales based on MaxEnt model: *Manglietia insignis* case. Biodiversity Science, 2018, 26(9): 931-940
- [15] 应凌霄, 刘晔, 陈绍田, 沈泽昊. 气候变化情景下基于最大熵模型的中国西南地区清香木潜在分布格局模拟. 生物多样性, 2016, 24(4): 453-461
Ying L X, Liu Y, Chen S T, Shen Z H. Simulation of the potential range of *Pistacia weinmannifolia* in Southwest China with climate change based on the maximum-entropy (Maxent) model. Biodiversity Science, 2016, 24(4): 453-461
- [16] Huang Z, Xie L, Wang H. Geographic distribution and impacts of climate change on the suitable habitats of *Zingiber* species in China. Industrial Crops and Products, 2019, 138: 111429
- [17] 陈衍. 宝庆本草折衷. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 158
Chen Y. Compromise of Baoqing materia medica. Beijing: People's Health Publishing House, 2003: 158
- [18] 李时珍. 本草纲目. 北京: 人民卫生出版社, 1981: 600-602
Li S Z. Compendium of materia medica. Beijing: People's Health Publishing House, 1981: 600-602
- [19] 石亚娜, 金航, 杨雁, 张立宪, 朱新焰, 王丽, 季鹏章, 刘大会. 草果药用本草考证. 中国现代中药, 2013, 15(10): 913-916
Shi Y N, Jin H, Yang Y, Zhang L X, Zhu X Y, Wang L, Ji P Z, Liu D H. Medicinal textual research on cao guo. Modern Chinese Medicine, 2013, 15(10): 913-916
- [20] 吴德邻. 中国植物志: 第 16 卷第二分册. 北京: 科学出版社, 1987: 121
Wu D L. Flora of China: Vol.16 Vol.2. Beijing: Science Press, 1987: 121

- [21] 王声跃, 张文. 云南地理. 昆明: 云南民族出版社, 2009: 235-255
Wang S Y, Zhang W. Yunnan geography. Kunming: Yunnan Nationalities Press, 2009: 235-255
- [22] 蒋会兵, 唐一春, 陈林波, 王平盛, 蔡新, 虞富莲, 杨柳霞, 王兴华, 李崇兴, 江鸿键, 王本忠, 段学良, 李静, 何月波, 王东, 李少峰, 卜保国. 云南省古茶树资源调查与分析. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (2): 296-307
Jiang H B, Tang Y C, Chen L B, Wang P S, Cai X, Yu F L, Yang L X, Wang X H, Li C X, Jiang H J, Wang B Z, Duan X L, Li J, He Y B, Wang D, Li S F, Piao B G. Survey and analysis of ancient tea plant resources in Yunnan province, China. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21 (2): 296-307
- [23] 杨航, 于二汝, 魏忠芬, 奉斌, 李慧琳. 贵州地方芝麻种质资源品质性状的分析与评价. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (2): 369-376
Yang H, Yu E R, Wei Z F, Feng B, Li H L. Analysis and evaluation of quality-related traits in sesame germplasm resources in Guizhou. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21 (2): 369-376
- [24] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王幸, 王晓军, 王伟. 花生种质资源表型性状的综合评价及指标筛选. 植物遗传资源学报, 2018, 19 (5): 865-874
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X, Wang X J, Wang W. Comprehensive evaluation and index screening of phenotypic traits in peanut germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19 (5): 865-874
- [25] 黄璐琦, 郭兰萍, 詹志来, 杨绍兵, 张金渝. 道地药材标准汇编. 北京: 北京科学技术出版社, 2020: 976-981
Huang L Q, Guo L P, Zhan Z L, Yang S B, Zhang J Y. Compilation of authentic medicinal materials standards. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 2020: 976-981
- [26] 李宝珠, 张金渝, 邱晓燕, 杨绍兵. 精准扶贫中药材草果产业项目运营管理规范. 北京: 中国标准出版社, 2020: 1-13
Li B Z, Zhang J Y, Qiu X Y, Yang S B. Targeted poverty alleviation Chinese medicinal materials-specifications for operation management of *Amomum tsaoko* Crevost et Lemarie project. Beijing: China Standards Press, 2020: 1-13
- [27] Skinner D Z, Baughan G R, Auricht G. A method for the efficient management and utilization of large germplasm collections. Crop Science, 1999, 39 (4): 1237-1242
- [28] 尹明宇, 高福玲, 乌云塔娜. 内蒙古西伯利亚杏种质资源表型多样性研究. 植物遗传资源学报, 2017, 18 (2): 242-252
Yin M Y, Gao F L, Wuyun T N. High-level genetic diversity of Siberian apricot (*Armeniaca sibirica*) in Inner Mongolia revealed by phenotyping. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18 (2): 242-252.
- [29] Wei Z, Bing Y L, Heng L M. Phenotypic diversity analysis of the fruit of *Amomum tsao-ko* Crevost et Lemarie, an important medicinal plant in Yunnan, China. Genetic Resources and Crop Evolution, 2019, 66 (1): 1-10
- [30] 马孟莉, 张婷婷, 朱玉道, 齐国芳, 雷程亮, 王田涛, 卢丙越. 利用 SRAP 标记分析草果遗传多样性. 分子植物育种, 2020, 18 (16): 5428-5435
Ma M L, Zhang T T, Zhu Y X, Qi G F, Lei C L, Wang T T, Lu B Y. Analysis of genetic diversity of *Amomum tsao-ko* by SRAP markers. Molecular Plant Breeding, 2020, 18 (16): 5428-5435
- [31] 李春宏, 狄佳春, 颜伟, 郭文琦, 朱银, 殷剑美, 王立, 韩晓勇, 蒋璐, 张培通. 江苏省高粱种质资源的收集及多样性分析. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (5): 1175-1185
Li C H, Di J C, Yan W, Guo W Q, Zhu Y, Yin J M, Wang L, Han X Y, Jiang L, Zhang P T. Collection and diversity analysis of *Sorghum* germplasm resource in Jiangsu Province. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21 (5): 1175-1185
- [32] 黄璐琦, 郭兰萍, 詹志来, 张金渝, 杨美权, 左应梅, 杨天梅, 杨绍兵. 中药材商品规格等级标准汇编. 北京: 中国中医药出版社, 2019: 1-5
Huang L Q, Guo L P, Zhan Z L, Zhang J Y, Yang M Q, Zuo Y M, Yang T M, Yang S B. Commercial grades for Chinese materia Medica-Tsaoko fructus. Beijing: China Traditional Chinese Medicine Press, 2019: 1-5