北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

滇藏杜英天然种质资源果实性状变异和综合评价

蒋华 杨丽英 董章宏 段胜智 张炜 赵江萍 杨晓霞 张满常

Variation and comprehensive evaluation of fruit traits in natural germplasm resources of *Elaeocarpus braceanus*

Jiang Hua, Yang Liying, Dong Zhanghong, Duan Shengzhi, Zhang Wei, Zhao Jiangping, Yang Xiaoxia, Zhang Manchang

引用本文:
蒋华, 杨丽英, 董章宏, 段胜智, 张炜, 赵江萍, 杨晓霞, 张满常. 滇藏杜英天然种质资源果实性状变异和综合评价[J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(5):37–47. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240350
Jiang Hua, Yang Liying, Dong Zhanghong, Duan Shengzhi, Zhang Wei, Zhao Jiangping, Yang Xiaoxia, Zhang Manchang. Variation and comprehensive evaluation of fruit traits in natural germplasm resources of *Elaeocarpus braceanus*[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(5):37–47. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240350

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240350

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

西藏光核桃果实表型性状变异分析与种质资源筛选
Analysis on phenotypic variation and germplasm resource selection of wild *Amygdalus mira* in Tibet of southwestern China
北京林业大学学报, 2020, 42(7): 48–57. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190422

文冠果不同交配组合种实性状变异及综合评价
Variation and comprehensive evaluation of fruit and seed phenotypic traits of different mating combinations in *Xanthoceras sorbifolium*
北京林业大学学报, 2019, 41(1): 42–56. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20180105

日本落叶松不同种源及家系生长性状变异分析
Variance analyses on growth traits of *Larix kaempferi* in different seed sources
北京林业大学学报, 2018, 40(11): 19–27. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20170478

红松优树无性系及其子代的生长评价与选择研究
Growth evaluation and selection study of elite clones and its offspring families in *Pinus koraiensis*
北京林业大学学报, 2021, 43(10): 38–46. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210080

五大连池火山山杨叶功能性状的变异特征
Variation characteristics of leaf functional traits of *Populus davidiana* in Wudalianchi Volcano, northeastern China
北京林业大学学报, 2021, 43(2): 81–89. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200089

蓝莓种质资源表型多样性研究
Phenotypic diversity analysis of blueberry germplasm resources
北京林业大学学报, 2020, 42(2): 124–134. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190279

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240350

滇藏杜英天然种质资源果实性状变异和综合评价

蒋　华[1,2]　杨丽英[3]　董章宏[1,2]　段胜智[3]　张　炜[1,2]　赵江萍[1,2]
杨晓霞[1,2]　张满常[3]
（1. 保山市林业和草原技术推广站，云南 保山 678000；2. 保山市林业和草原科学研究所，云南 保山 678000；
3. 保山市药品检验检测研究院，云南 保山 678000）

摘要:【目的】本研究旨在通过对云南省天然分布的滇藏杜英种质资源果实性状变异规律的分析和综合评价，为滇藏杜英良种培育和资源综合利用提供坚实的理论依据和优良的种质材料。**【方法】**以云南省 8 个天然分布居群中的 208 株滇藏杜英为材料，对其 16 个果实性状进行变异分析、相关性分析、聚类分析和主成分分析，并结合主成分评价法、模糊隶属函数评价法、多维坐标综合评价法以及增益分析筛选优良种质。**【结果】**(1)滇藏杜英果实性状的变异系数范围为 2.66% ~ 84.18%，其中没食子酸含量的变异系数最大(84.18%)，其次是维生素 C 含量(67.72%)、总酚含量(40.60%)、可溶性固形物含量(35.09%)、总糖含量(34.03%)、果核质量(27.85%)和果实质量(26.89%)；而粗纤维含量(12.17%)、果核纵径(12.04%)、果实纵径(11.59%)、果核横径(10.35%)、果实横径(9.44%)、果形指数(7.59%)、可食率(6.85%)和水浸出物含量(2.66%)的变异系数较小。(2)果实质量、果实纵径、果实横径与可食率呈极显著正相关，而与没食子酸、总酚含量呈极显著负相关；果核质量与可食率、总酚含量呈极显著负相关；可溶性固形物含量与总酚、水浸出物、没食子酸含量呈显著正相关；粗纤维含量与没食子酸含量呈极显著正相关。(3)聚类分析将滇藏杜英种质资源划分为 3 个类群：类群 Ⅰ 为小果型，类群 Ⅱ 为中果型，类群Ⅲ为大果型。(4)16 个果实性状指标构成 5 个主成分，F_1 代表果实大小因子，F_2 代表果核大小和药用成分因子，F_3 代表果实形态和药用成分因子，F_4 和 F_5 均代表果实营养和药用成分因子，累计贡献率达 71.317%，涵盖了滇藏杜英果实性状的大部分信息。(5)通过 3 种评价方法，筛选出 9 株优良种质，分别为 XD11、NK13、LC28、SJ05、MB05、MB11、MB12、WQ04、WQ20，来源于类群 Ⅱ 和类群Ⅲ，这些种质在果实大小、形态和相关内含物指标上表现出显著优势。**【结论】**滇藏杜英的果实中没食子酸含量、维生素 C 含量、总酚含量和种实质量等药用和产量相关性状变异程度较大，可为滇藏杜英的良种选育提供丰富的资源基础。其中，大果型和中果型类群容易稳定产出优良种质个体。本研究筛选出 9 株滇藏杜英优良种质，可作为良种选育和快速扩繁的重要基础材料，并在实际生产中进行推广应用。

关键词：滇藏杜英；果实性状；变异；综合评价；优良种质
中图分类号：S722.5；S792.99　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000−1522(2025)05−0037−11
引文格式：蒋华，杨丽英，董章宏，等. 滇藏杜英天然种质资源果实性状变异和综合评价［J］. 北京林业大学学报，2025，47(5)：37−47. Jiang Hua, Yang Liying, Dong Zhanghong, et al. Variation and comprehensive evaluation of fruit traits in natural germplasm resources of *Elaeocarpus braceanus*［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(5): 37−47.

Variation and comprehensive evaluation of fruit traits in natural germplasm resources of *Elaeocarpus braceanus*

Jiang Hua[1,2]　Yang Liying[3]　Dong Zhanghong[1,2]　Duan Shengzhi[3]　Zhang Wei[1,2]　Zhao Jiangping[1,2]
Yang Xiaoxia[1,2]　Zhang Manchang[3]

收稿日期：2024−10−24　**修回日期：**2024−12−16
基金项目：云南省技术创新人才培养项目(202405AD350082)，保山市科技计划项目(2024bskj19)，保山市“兴保英才计划”青年人才专项(2023QNRC03)。

第一作者：蒋华，高级工程师。主要研究方向：经济林栽培技术研究与推广。Email：bssjh1989@163.com　地址：678000 云南省保山市隆阳区太保北路 10 号市林业和草原局。
责任作者：张满常，高级工程师。主要研究方向：药用植物开发及食品药品检验检测。Email：195906453@qq.com　地址：678000 云南省保山市隆阳区金山路 2 号。

本刊网址：http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

(1. Forestry and Grassland Technique Extention Station of Baoshan City, Baoshan 678000, Yunnan, China;
2. Forestry and Grassland Scientific Research Institute of Baoshan City, Baoshan 678000, Yunnan, China;
3. Institute for Drug Inspection and Testing of Baoshan City, Baoshan 678000, Yunnan, China)

Abstract: [**Objective**] The study aims to provide a solid theoretical basis and excellent germplasm materials for the breeding of superior varieties and comprehensive utilization of *Elaeocarpus braceanus* resources through the analysis and comprehensive evaluation of variation patterns of fruit traits of *E. braceanus* germplasm resources naturally distributed in Yunnan Province of southwestern China. [**Method**] Taking 208 individual plants of *E. braceanus* from eight naturally distributed populations in Yunnan Province as materials, variation analysis, correlation analysis, and principal component analysis were carried out on 16 fruit traits. Superior germplasms were screened by combining the principal component evaluation method, fuzzy membership function evaluation method, multi-dimensional coordinate comprehensive evaluation method and gain analysis. [**Result**] (1) The coefficient of variation of fruit traits in *E. braceanus* ranged from 2.66% to 84.18%. The coefficient of variation of gallic acid content was the highest (84.18%), followed by vitamin C content (67.72%), total phenol content (40.60%), soluble solid content (35.09%), total sugar content (34.03%), kernel mass (27.85%), and fruit mass (26.89%). The coefficient of variation of crude fiber content (12.17%), kernel longitudinal diameter (12.04%), fruit longitudinal diameter (11.59%), kernel transverse diameter (10.35%), fruit transverse diameter (9.44%), fruit shape index (7.59%), edible rate (6.85%), and water extract content (2.66%) were relatively small. (2) Fruit mass, fruit longitudinal diameter, and fruit transverse diameter were extremely significantly positively correlated with edible rate, and extremely significantly negatively correlated with gallic acid and total phenol content. Kernel mass was extremely significantly negatively correlated with edible rate and total phenol content. Soluble solid content was significantly positively correlated with total phenol, water extract and gallic acid content. Crude fiber content was extremely significantly positively correlated with gallic acid content. (3) Cluster analysis divided the germplasm resources of *E. braceanus* into three groups: group Ⅰ was the small-fruit type, group Ⅱ was the medium-fruit type, and group Ⅲ was the large-fruit type. (4) The 16 fruit trait indicators constituted five principal components, F_1 represented fruit size factor, F_2 represented the kernel size and medicinal component factor, F_3 represented fruit morphology and medicinal component factor, F_4 and F_5 both represented the fruit nutrition and medicinal component factors. The cumulative contribution rate reached 71.317%, covering most of the information on fruit traits of *E. braceanus*. (5) Through three evaluation methods, nine superior germplasms, namely XD11, NK13, LC28, SJ05, MB05, MB11, MB12, WQ04 and WQ20 were screened out, which all belong to group Ⅱ and group Ⅲ. These germplasms showed significant advantages in fruit size, morphology and related inclusion indicators. [**Conclusion**] The medicinal and yield-related traits of *E. braceanus*, represented by gallic acid content, vitamin C content, total phenol content, and seed mass have a large degree of variation, providing abundant resources for breeding of superior varieties. The large fruit and medium fruit groups are more likely to produce superior germplasm individuals stably. 9 superior germplasms of *E. hookerianus* were selected, which can serve as important basic materials for selection of superior strains and rapid propagation, and they are recommended for application and promotion in actual production.

Key words: *Elaeocarpus braceanus*; fruit traits; variation; comprehensive evaluation; superior germplasm

我国森林资源丰富，其中蕴藏着大量的食物资源。开发森林食物资源，拓展食物来源，挖掘新型食品资源，保障各类食物的有效供给，是践行大食物观、保障国家粮食安全的重要内容[1]。滇藏杜英（*Elaeocarpus braceanus*）为杜英科（Elaeocarpaceae）杜英属（*Elaeocarpus*）常绿阔叶大型乔木，国内天然分布于云南省西南部和西藏自治区东南部[2]。滇藏杜英的果实风味独特，酸涩回甘，具有生津止渴和清热解毒的功效，深受产区傈僳族、景颇族、傣族、拉祜族等少数民族群众的喜爱，是一种具有民族特色的药食兼用植物资源[3]。滇藏杜英果实中含有生物碱、氨基酸、核苷酸、类黄酮、香豆素、脂质、酚酸、

单宁等 12 类 749 种初级和次级代谢物[4]；其果实的酚类提取物还具有抗抑郁[5]、抗氧化[6]、抗高血糖[7]和抗炎[8]等多种功效。

鉴于滇藏杜英果实良好的经济和利用价值，目前在我国云南省西南地区已有林农自发种植，并且部分小型企业和小作坊开始生产果脯（蜜饯）、果汁、冷饮等产品，市场需求旺盛，供不应求。然而，云南省的滇藏杜英产业仍处于起步阶段，市场所需的鲜果原料主要依赖于野生资源采集。随着传统鲜食市场和产品加工原料需求量逐年增加，野生资源采集面临着诸多问题，如采摘危险性大、劳动力成本高、资源破坏严重、果实质量参差不齐且利用率低等。这些问题严重制约了滇藏杜英产业的进一步发展，难以满足日益增长的加工利用和鲜食的需求。因此，开展人工驯化栽培已迫在眉睫。在此背景下，全面系统地开展滇藏杜英天然种质资源的评价与良种选育工作显得尤为重要。通过筛选果实品质优良的种质资源，实现高效栽培，有望突破产业发展瓶颈，为滇藏杜英产业的可持续发展奠定坚实基础。

性状变异是林木遗传多样性和表型可塑性在不同环境中的具体体现，也是开展林木遗传改良工作的先决条件[9]。近年来，基于林木种质资源性状变异规律的分析，结合综合评价方法筛选优良种质，已经在多种林木种质资源评价中得到了广泛应用，例如黄连木（*Pistacia chinensis*）[9]、杜仲（*Eucommia ulmoides*）[10]、文冠果（*Xanthoceras sorbifolium*）[11]、薄壳山核桃（*Carya illinoinensis*）[12]。然而，目前对于滇藏杜英种质资源的遗传变异和综合评价尚未有系统的研究报道。本研究以云南省 8 个天然分布区的 208 株滇藏杜英为研究对象，拟对其 16 个果实性状进行详细的测定和分析，并进行综合评价。研究旨在揭示滇藏杜英果实性状的变异规律，并筛选出果实性状优良的天然种质资源，以期为滇藏杜英品比试验林的建立、良种培育以及后续的产业化开发提供坚实的理论依据和优质的种质材料基础。

1　材料与方法

1.1　试验材料

2023 年 10—11 月果实成熟期间，基于种质资源调查的结果，在云南省滇藏杜英天然分布区内选择 8 个地点进行采样。每个采样地选择树龄基本一致且处于盛果期的植株约 30 株，且确保相邻植株之间的距离大于 50 m。每单株采集 30 粒成熟健康的果实，分别装于尼龙网袋，并按照采样地点的地名缩写以及单株植株的序号，为每袋果实标注采集标签。随后，将采集到的果实带回室内，置于 2 ~ 4℃冰箱贮存，作为后续的试验材料。因高黎贡山赧亢管护站和双江县沙河乡 2 个采样点地处原始森林，分布的滇藏杜英的树高多数达到 20 ~ 25 m，导致可采摘的单株数量较少，采摘难度大，这两个采样点实际取样单株分别仅有 17 株和 8 株。各采样地基本概况和采样株数如表 1 所示，滇藏杜英植株及其果实特征见图 1。

1.2　果实性状测定

1.2.1　表型性状测定

采样果实 48 h 内完成果实性状测定。每个参试单株随机选取 20 粒果实，使用电子天平（精度 0.01 g）和数显游标卡尺（精度 0.01 mm）依次测量果实质量、果实纵径、果实横径；用小刀剔除果肉，将果肉混匀分装于自封袋内，并用记号笔标记单株编号；再对应测量果核质量、果核纵径、果核横径；计算果形指数（果实纵径与果实横径的比值）和果实可食率（果实质量与果核质量的差值与果实质量的百分比）[13]。

1.2.2　内含物性状测定

依次取出每个参试单株剔除的果肉，用榨汁机捣碎后，再装回对应编号自封袋内。可溶性固形物含量的测定参照 NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可

表 1　采样地基本概况

Tab. 1　Basic situation of sampling sites

采样地点	采样株数	单株编号	经度	纬度	海拔/m
腾冲市芒棒镇（MB）	30	MB 1 ~ 30	98°37′30″ ~ 98°40′17″E	24°55′47″ ~ 25°01′14″N	1 600 ~ 1 930
腾冲市团田乡（TT）	29	TT 1 ~ 29	98°32′58″ ~ 98°37′14″E	24°41′46″ ~ 24°48′52″N	1 550 ~ 2 025
陇川县护国乡（LC）	30	LC 1 ~ 30	98°02′42″ ~ 98°03′28″E	24°34′35″ ~ 24°36′29″N	1 820 ~ 2 035
昌宁县温泉镇（WQ）	33	WQ 1 ~ 33	99°39′20″ ~ 99°42′33″E	24°36′28″ ~ 24°45′42″N	1 750 ~ 2 050
龙陵县象达镇（XD）	31	XD 1 ~ 31	98°41′41″ ~ 98°48′51″E	24°23′58″ ~ 24°29′28″N	1 825 ~ 2 080
高黎贡山赧亢管护站（NK）	17	NK 1 ~ 17	98°46′06″ ~ 98°47′31″E	24°48′01″ ~ 24°49′43″N	1 930 ~ 2 225
双江县沙河乡（SJ）	8	SJ 1 ~ 8	99°42′28″ ~ 99°44′27″E	23°33′16″ ~ 23°34′31″N	1 730 ~ 2 215
景东县锦屏镇（JD）	30	JD 1 ~ 30	100°41′06″ ~ 100°41′24″E	24°31′05″ ~ 24°33′09″N	1 890 ~ 2 045



a. 群落生境；b. 结果性状；c. 叶、花、果穗特征；d. 种实形态特征。

图 1 滇藏杜英群落和种实特征

Fig. 1 Community and seed characteristics of *Elaeocarpus braceanus*

溶性固形物含量的测定》，使用折射仪法；粗纤维含量的测定参照 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》，使用重量差法；总糖含量的测定参照 GB/T 10782—2021《蜜饯质量通则》，使用斐林试剂法；总酸含量的测定参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准食品中总酸的测定》，使用酸碱指示剂滴定法；总酚含量的测定参照 LY/T 2866—2017《余甘子粉》，使用福林酚试剂和紫外分光光度法；维生素 C 含量的测定参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》，采用高效液相色谱法；水浸出物含量的测定参照 GB/T 8305—2013《茶水浸出物测定》，采用重量差法；没食子酸含量的测定参照 LY/T 1644—2023《没食子酸试验方法》，采用高效液相色谱法。

1.3 果实性状分析

采用 Microsoft Excel 2021 软件对果实性状的原始数据进行整理，通过 SPSS 26.0 软件对果实性状数据进行变异分析和 Pearson 相关性分析。利用 Origin Pro 2021 软件，以 Euclidean 距离为遗传距离，采用 Ward 法进行聚类分析，并制作聚类树状图。通过 SPSS 26.0 软件对果实性状数据进行标准化处理，后进行主成分分析，提取特征值 > 1 的主成分。将每个主成分相关性矩阵的特征向量值除以其贡献值（即特征值的平方根），计算出各主成分的权重。

1.4 种质资源综合评价

采用主成分综合评价法、模糊隶属函数法和多维坐标综合评价法对参试植株进行综合评价[14]，每种方法分别排序选出前 30 名单株，同时入选的单株即评价为优良种质。

1.4.1 主成分综合评价法

将主成分分析中果实性状的标准化值与对应主成分的权重值相乘，得到各主成分的得分。最后，依据公式（1），将各主成分得分与对应的相对方差贡献率的乘积进行累加，得出综合得分。综合得分越高，表明植株的综合评价越好。

$$F = \sum_{i=1}^{n} F_i G_i \tag{1}$$

式中：F 为植株综合得分，n 为主成分个数，F_i 为第 i 个主成分得分，G_i 为第 i 个主成分对应的方差贡献率[14]。

1.4.2 模糊隶属函数法

以果实质量为选优目标性状，按公式（2）和（3）计算所有参试单株果实性状的隶属函数值，各单株 16 个果实性状隶属函数值的平均值即为综合得分，数值越大，说明植株的综合评价越好。隶属函数值计算公式为

$$U(N_{ij}) = \frac{N_{ij} - N_{i,\min}}{N_{i,\max} - N_{i,\min}} \tag{2}$$

若果实性状与选优目标性状呈负相关，则计算公式为

$$U(N_{ij}) = 1 - \frac{N_{ij} - N_{i,\min}}{N_{i,\max} - N_{i,\min}} \tag{3}$$

式中：$U(N_{ij})$ 为隶属函数值，N_{ij} 第 j 个单株的第 i 个性状测定值，$N_{i,\min}$ 和 $N_{i,\max}$ 分别为所有参试单株第 i 个性状的最小值和最大值[14]。

1.4.3　多维坐标综合评价法

以果实质量为选优目标性状，将 208 株参试单株作为行，16 个果实性状作为列，各单株对应的果实性状测定值作为数据，构建原始数据矩阵，用 N_{ab} 表示，其中 a 为植株编号，b 为果实性状编号。随后，针对矩阵中的每一列数据，计算每个性状数值与该列中最大值的比值；若性状与目标选优性状呈负相关，则计算该列中最小值与每个性状数值的比值，从而得到矩阵元素的相对值，形成矩阵坐标（n_{ab}），即第 a 个参选单株第 b 个性状的矩阵元素相对值[14]。按公式(4)计算第 a 个参选单株到理论标准点的距离（P_a），即综合得分，P_a 越小，说明与理论标准点之间的距离越近，植株的综合评价越好。

$$P_a = \sqrt{\sum_{i=1}^{16}(1-n_{ab})^2} \tag{4}$$

1.5　优良种质资源果实性状的增益分析

计算上述综合评价得出的优良种质的 16 个果实性状的增益，进一步评价这些优良种质。若增益为正值，说明该种质资源果实性状优势显著。

$$Z = \frac{M_i - m_i}{M_i} \times 100\% \tag{5}$$

式中：Z 为入选优良种质在各果实性状平均值上的增益(%)，M_i 为入选优良种质第 i 个果实性状的平均值，m_i 为所有参试植株第 i 个果实性状的平均值[15]。

2　结果与分析

2.1　果实性状分析

2.1.1　变异分析

208 株滇藏杜英的 16 个果实性状的统计分析情况见表 2。16 个果实性状的变异系数范围为 2.66%～84.18%，其中，变异系数较大的为果实没食子酸含量（84.18%），其次是果实维生素 C 含量（67.72%）、总酚含量（40.60%）、可溶性固形物含量（35.09%）、总糖含量（34.03%）、果核质量（27.85%）、果实质量（27.38%），说明这些性状变异丰富，具有较高的筛选潜力。变异系数较小的为果实水浸出物含量（2.66%）、总酸含量（5.06%）、可食率（6.85%）、果形指数（7.59%）、果实横径（9.44%）、果核横径（10.35%）、果实纵径（11.59%）、果核纵径（12.04%）和粗纤维含量（12.17%），说明这些性状的变异程度较小，比较稳定。

2.1.2　相关性分析

16 个果实性状的相关性分析结果（表 3）显示：果实质量、果实纵径、果实横径与果实可食率呈极显著正相关，与果实总酚含量和没食子酸含量呈极显著负相关，表明单株果实个头越大，其果实可食率越高，而果实主要药用成分积累越少。果核质量、果核纵径、果核横径与总酚含量呈极显著负相关，表明果

表 2　滇藏杜英果实性状统计分析

Tab. 2　Statistical analysis of fruit traits of *E. braceanuss*

性状	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/ %
果实质量(X_1)/g	15.49	73.13	35.86	9.82	27.38
果实纵径(X_2)/mm	34.63	68.63	46.93	5.65	12.04
果实横径(X_3)/mm	26.06	45.28	35.10	3.31	9.44
果核质量(X_4)/g	3.99	18.83	9.73	2.71	27.85
果核纵径(X_5)/mm	22.81	46.85	33.55	4.00	11.92
果核横径(X_6)/mm	15.84	27.44	20.94	2.17	10.35
果形指数(X_7)	1.09	1.61	1.34	0.10	7.59
可食率(X_8)/%	56.20	83.95	72.32	4.95	6.85
可溶性固形物含量(X_9)/%	0.39	11.27	4.99	1.75	35.09
粗纤维含量(X_{10})/ %	1.30	2.50	1.89	0.23	12.17
总糖含量(X_{11})/(10^{-2} g·g^{-1})	1.07	4.24	1.92	0.65	34.03
总酸含量(X_{12})/（g·kg^{-1}）	34.93	50.64	43.32	2.19	5.06
总酚含量(X_{13})/(mg·g^{-1})	1.90	28.40	7.76	3.15	40.60
维生素C含量(X_{14})/(10^{-2} mg·g^{-1})	1.64	276.68	80.13	54.26	67.72
水浸出物含量(X_{15})/ %	80.85	95.47	92.02	2.45	2.66
没食子酸含量(X_{16})/(mg·kg^{-1})	6.94	236.22	51.40	43.27	84.18

表 3 滇藏杜英果实性状相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of fruit traits of *E. braceanuss*

性状	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
X_1	0.875**	0.938**	0.771**	0.805**	0.652**	0.172*	0.258**	−0.114	−0.007	−0.137*	0.041	−0.258**	0.115	−0.011	−0.199**
X_2		0.743**	0.622**	0.893**	0.434**	0.590**	0.309**	−0.178*	−0.026	−0.140*	0.097	−0.226**	0.097	−0.078	−0.232**
X_3			0.732**	0.667**	0.723**	−0.097	0.255**	−0.116	−0.043	−0.176*	0.063	−0.316**	0.175*	−0.003	−0.204**
X_4				0.771**	0.906**	0.051	−0.391**	−0.118	0.126	−0.129	−0.155*	−0.217**	0.020	0.009	−0.002
X_5					0.595**	0.528**	−0.033	−0.232**	0.172*	−0.171*	0.005	−0.227**	0.044	−0.094	−0.105
X_6						−0.220**	−0.428**	−0.126	0.146*	−0.161*	−0.131	−0.282**	0.054	0.002	0.040
X_7							0.145*	−0.119	0.017	0.005	0.058	0.039	−0.064	−0.113	−0.115
X_8								0.030	−0.238**	−0.006	0.251**	−0.064	0.157*	−0.048	−0.310**
X_9									−0.001	0.310**	−0.067	0.281**	0.079	0.168*	0.138*
X_{10}										0.075	−0.076	−0.067	−0.029	0.004	0.208**
X_{11}											−0.091	0.382**	−0.180**	0.030	0.127
X_{12}												−0.108	0.077	−0.055	−0.176*
X_{13}													−0.209**	0.170*	0.116
X_{14}														−0.063	−0.127
X_{15}															0.068

注:*表示在 0.05水平上显著相关; **表示在0.01水平上极显著相关。下同。

核越小，果实的酚类药用成分积累越多；果实可溶性固形物含量与总酚、水浸出物、没食子酸含量呈显著或极显著正相关，表明果实可溶性固形物含量越高，果实药用成分积累越多。果实总糖与总酚含量呈极显著正相关，总糖和总酚含量与维生素 C 含量呈极显著负相关，表明果实总糖和总酚的积累存在相互促进关系，二者与维生素 C 的积累存在竞争关系。粗纤维含量与没食子酸含量呈极显著正相关，表明二者之间存在相互促进关系。

2.1.3 聚类分析

聚类分析结果(图 2)显示：在欧式距离为 7 时，208 株滇藏杜英单株被分为 3 个类群，相同采样地的单株并未完全聚在一起，说明滇藏杜英果实性状的变异与地域来源无明显相关性。对各类群各果实性状的平均值进行统计发现，第 Ⅰ 类群为小果型类群，共 93 株单株，该类群的果实、果核质量和纵横径均显著低于其他类群，果实可食率最高，各内含物含量均处于中等偏高水平；第 Ⅱ 类群为中果型类群，共 41 株单株，该类群的果实、果核质量和纵横径介于第 Ⅰ 类群和第Ⅲ类群之间，果实的可溶性固形物、粗纤维、总糖、总酚、水浸出物和没食子酸含量均最高，总酸和维生素 C 含量最低。第Ⅲ类群为大果型类群，共 74 株单株，该类群的果实、果核质量和纵横径均显著高于其他类群，果实的维生素 C 含量最高，可溶性固形物、总糖、总酚和没食子酸含量最低(图 2，表 4)。

2.1.4 主成分分析

主成分分析(表 5)显示：16 个果实性状构成了 5 个主成分，累计方差贡献率 71.317%，能够较完整地代表各果实性状指标信息。在第 1 主成分(F_1)中，正向因子载荷系数较高的为果实质量、果实纵径、果实横径、果核质量、果核纵径、果核横径，主要反映的是果实大小和形态相关信息；在第 2 主成分(F_2)中，正向因子载荷系数较高的为果实没食子酸含量、果核质量和果核横径，反映的是果核大小和药用成分相关信息；在第 3 主成分(F_3)中，正向因子载荷系数较高的为果形指数、总糖含量和总酚含量，反映的是果实外观形态和果实营养、药用成分相关信息；在第 4 主成分(F_4)中，正向因子载荷系数较高的为可溶性固形物含量和水浸出物含量，在第 5 主成分(F_5)中，正向因子载荷系数较高的为维生素 C 和粗纤维含量，这 2 个主成分均反映了果实营养和药用成分相关信息。

2.2 种质资源综合评价

利用主成分评价法、模糊隶属函数法和多维坐标综合评价法对 208 株滇藏杜英的 16 个果实性状进行综合评价排序。结果(表 6)显示：3 种方法筛选出的前 30 名表现较优的单株中，有 9 株单株同时入选，分别为 XD11、NK13、LC28、SJ05、MB05、MB11、MB12、WQ04、WQ20。结合聚类结果，发现 9 株优良种质属于类群 Ⅱ(中果)和Ⅲ(大果)，暗示着大果型和中果型类群容易稳定产出优良种质个

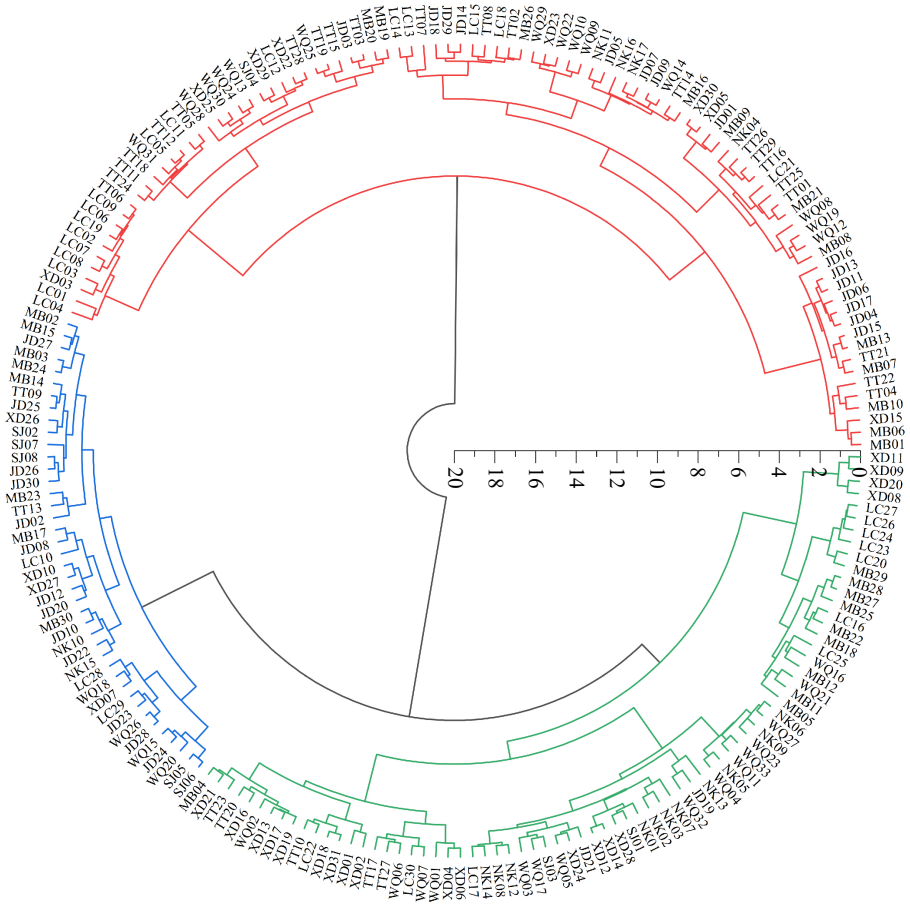


图 2　208 株滇藏杜英种质聚类树状图

Fig. 2　Cluster tree diagram of 208 *E. braceanuss* germplasms

表 4　不同类群果实性状比较

Tab. 4　Comparison of fruit traits among varied groups

类群	性状															
	X_1/g	X_2/mm	X_3/mm	X_4/g	X_5/mm	X_6/mm	X_7	X_8/%	X_9/%	X_{10}/%	X_{11}/(10^{-2}g·g^{-1})	X_{12}/(g·kg^{-1})	X_{13}/(mg·g^{-1})	X_{14}/(10^{-2} mg·g^{-1})	X_{15}/%	X_{16}/(mg·kg^{-1})
Ⅰ	28.961 9c	43.347 5c	32.949 9c	7.470 5c	30.519 6c	19.287 8c	1.318 3b	73.572 8a	5.191 1a	1.837 2c	1.965 5b	43.409 8a	8.298 2a	81.333 7a	92.031 3b	54.441 6ab
Ⅱ	36.436 3b	46.889 8b	35.286 6b	10.834 4b	34.214 1b	21.635 1b	1.332 7ab	70.082 9b	5.577 6a	1.970 1a	2.346 8a	42.860 7a	9.113 7a	54.445 9b	93.290 7a	61.805 8a
Ⅲ	43.737 7a	51.284 3a	37.692 2a	11.945 4a	36.981 6a	22.628 6a	1.364 3a	71.572 8a	4.401 6b	1.898 6ab	1.624 9c	43.458 4a	6.327 3b	92.833 8a	91.292 4b	41.828 1b

注：不同小写字母表示不同类群差异显著（$P < 0.05$）。

体。对这 9 株优良种质的果实性状进行增益分析发现，所有参试单株相比，9 株优良种质的 16 个果实性状的平均增益达 12.62%（表 7）。这一结果表明，筛选出的 9 株滇藏杜英在果实性状方面表现优异，可作为优良种质材料应用于良种选育工作。

3　讨　　论

植物的表型性状是基因与环境共同作用结果，通常表型性状变异越大，遗传变异的可能性就越大，进而为植物遗传改良提供多种选择[15]。滇藏杜英作为可开发利用的药食兼用树种，其果实相关性状的优良性往往是优树选择的决定因素，对其果实性状进行分析和评价，有助于筛选出育种所需稳定性状和优异种质材料，以推动其良种选育进程，满足其产业生产需求。

本研究中滇藏杜英果实没食子酸含量、维生素 C 含量、总酚含量 3 个药用性状变异程度极大，变异系数分别为 84.18%、67.72%、40.60%，果核质量和果实质量 2 个产量性状变异程度次之，变异系数分别为 27.85% 和 27.38%，表明野生滇藏杜英在药用性状和产量性状上具有较大选择潜力，在良种选育中可考虑将这些性状作为主要评价指标。而果形指数、果实横径、果实纵径、果核横径、果核纵径 5 个种实形态性状变异程度相对较小，表明滇藏杜英果实形态性状指标相对稳定，受环境影响较小，这与前人对黄连木[9]、文冠果[16]、山桐子（*Idesia polycarpa*）[17]、

表 5 滇藏杜英果实性状主成分分析

Tab. 5 Principal component analysis of fruit traits of *E. braceanuss*

性状	主成分				
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
X_1	0.939	−0.091	0.102	0.237	−0.009
X_2	0.884	−0.304	0.322	−0.040	0.031
X_3	0.890	−0.036	−0.121	0.366	−0.027
X_4	0.861	0.446	0.029	0.036	−0.073
X_5	0.902	0.001	0.286	−0.217	0.063
X_6	0.764	0.541	−0.205	0.112	−0.063
X_7	0.248	−0.405	0.624	−0.501	0.080
X_8	0.046	−0.817	0.074	0.319	0.092
X_9	−0.256	0.142	0.304	0.600	0.375
X_{10}	0.064	0.393	0.104	−0.315	0.566
X_{11}	−0.268	0.161	0.584	0.286	0.143
X_{12}	0.027	−0.476	−0.155	0.009	0.088
X_{13}	−0.391	0.128	0.591	0.243	−0.189
X_{14}	0.144	−0.227	−0.385	0.242	0.592
X_{15}	−0.082	0.195	0.131	0.418	−0.267
X_{16}	−0.202	0.543	0.136	−0.107	0.251
特征值	5.021	2.252	1.648	1.450	1.040
贡献率/%	31.381	14.074	10.300	9.065	6.497
累计贡献率/%	31.381	45.456	55.755	64.820	71.317

无患子属(*Sapindus*)[18]、柿子(*Diospyros kaki*)[19]、蒜头果(*Malania oleifera*)[20]等植物果实形态性状变异的研究结果一致。生产中滇藏杜英可利用部位是果肉[4],在育种材料和性状选择过程中除了兼顾变异较大的药用性状和产量性状外,还应考虑果肉产出率(可食率)这一性状指标。相关性分析发现,果实可食率与维生素 C 含量呈显著正相关,说明滇藏杜英果实可食率越高,越有利于维生素 C 含量的积累。其次,可食率还与果实质量呈极显著正相关,与果核质量呈极显著负相关,因而果实大、果核小的品系应是滇藏杜英良种培育的主要方向之一。此外,滇藏杜英果实、果核的质量、横径、纵径与总酚含量均呈极显著负相关,推测其果实生长发育过程中可能存在影响药用成分代谢物合成与积累的调控机制,未来可运用多组学研究深入挖掘利用。

聚类分析将滇藏杜英天然种质划分为 3 个类群,类群III的平均果实质量较类群 I 和类群 II 高出 51.02% 和 20.04%,类群 II 的没食子酸和总酚平均含量较类群III高出 47.76% 和 44.04%,类群 I 的没食子酸和总酚平均含量较类群III高出 30.16% 和 31.15%,表明类群III具有筛选大果型优良种质的潜力,类群 II 和类群 I 具有筛选高药用型优良种质的潜力。值得关注的是类群 I 果实质量较小,实际生产中往往容易被忽视,但该类群的药用性状稳定,可进一步挖掘优异且稳定的性状,在杂交育种、分子育种等方面加以利用。

种质资源评价的最终目的是筛选优异种质和培育优良品种,使经济效益和社会效益最大化[21]。为了更加准确、科学地开展滇藏杜英种质性状评价,本研究通过主成分分析将 16 个性状指标简化为 5 个主成分,其中果实形态和药用性状在主成分 F_1 和 F_2 中占据了较大权重,其他性状在各主成分中也均有一定贡献。为减少选取不同评价参数权重而造成的评价结果偏差,本研究采用主成分综合评价法、模糊隶属函数评价法和多维坐标综合评价法分别对滇藏杜英种质进行综合评价,使评价结果更加科学、全面和可靠。应用 3 种评价方法筛选出 9 株最优种质,编号分别为 XD11、NK13、LC28、SJ05、MB05、MB11、MB12、WQ04、WQ20,均来源于类群 II 和类群III,暗示着大果型和中果型类群容易稳定产出优良种质个体。此外,这 9 株优良种质在种实质量、形态和药用价值等重要性状方面具有显著优异性,可作为滇藏杜英良种培育和快速扩繁的基础材料。

本研究对云南省滇藏杜英不同天然居群种质资

表 6　3 种评价方法对滇藏杜英种质的综合评价

Tab. 6　Comprehensive evaluation of *E. braceanuss* germplasms using 3 evaluation methods

排名	主成分评价法		模糊隶属函数评价法		多维坐标综合评价法	
	单株编号	综合得分	单株编号	综合得分	单株编号	综合得分
1	**XD11**	2.427	**MB05**	0.624	**MB05**	1.393
2	LC25	1.921	**NK13**	0.619	**WQ04**	1.512
3	XD20	1.858	**MB12**	0.601	WQ23	1.588
4	**NK13**	1.701	LC25	0.601	WQ18	1.598
5	XD09	1.634	**WQ20**	0.579	NK05	1.600
6	WQ03	1.602	**XD11**	0.577	WQ11	1.615
7	XD08	1.602	XD20	0.546	WQ08	1.635
8	NK07	1.559	MB22	0.537	WQ17	1.646
9	**MB05**	1.549	NK12	0.537	SJ03	1.659
10	**WQ20**	1.476	XD09	0.531	SJ01	1.677
11	WQ32	1.382	WQ16	0.528	**NK13**	1.686
12	**MB12**	1.214	WQ32	0.523	**MB12**	1.689
13	NK12	1.193	JD19	0.522	**LC28**	1.692
14	JD19	1.151	WQ03	0.520	MB22	1.699
15	JD21	1.063	MB18	0.517	LC30	1.704
16	NK08	1.044	**MB11**	0.516	WQ33	1.707
17	**LC28**	1.027	NK10	0.514	SJ06	1.710
18	**MB11**	1.013	MB29	0.513	**SJ05**	1.711
19	**SJ05**	0.959	NK07	0.512	WQ16	1.712
20	XD28	0.955	**SJ05**	0.511	**MB11**	1.718
21	LC23	0.911	MB25	0.506	MB25	1.719
22	LC17	0.908	LC20	0.502	WQ10	1.723
23	SJ03	0.827	WQ23	0.502	**XD11**	1.727
24	**WQ04**	0.812	**LC28**	0.501	LC04	1.730
25	MB29	0.785	WQ15	0.501	NK12	1.736
26	WQ17	0.778	**WQ04**	0.500	NK02	1.739
27	XD12	0.770	WQ21	0.498	WQ15	1.741
28	WQ28	0.723	JD24	0.496	LC10	1.743
29	JD24	0.715	SJ06	0.495	JD23	1.749
30	LC24	0.710	MB17	0.490	**WQ20**	1.755

注: 加粗的为3种方法共同筛选出的优良单株。

源的果实性状进行测定、分析及评价，为滇藏杜英种质资源收集和良种培育奠定了基础。但由于条件限制，本研究未能对采样植株的结实能力、丰产能力等主要产量性状进行调查统计，未对果实黄酮类、总皂苷等药用性状及蛋白质、脂肪等营养性状进行测定分析，存在一定局限性。未来的研究将继续扩大种质资源调查范围，运用多组学技术挖掘关键基因和代谢通路，建立品种比较试验林并进行长期观测，以期培育性状优良、一致性高、稳定性好的品种，在生产中推广应用。

4　结　　论

本研究针对云南省滇藏杜英产业发展过程中缺乏良种支撑的现实问题，开展滇藏杜英种质资源调查和果实性状测定，利用果实性状变异分析和综合评价方法，进行优异性状和优良种质筛选，研究得到以下结论。

(1)滇藏杜英果实的主要变异性状是没食子酸、维生素 C、总酚、可溶性固形物、总糖、果实质量和果核质量。

表 7　9 株优良种质的果实性状表现和平均增益

Tab. 7　Fruit trait performance and average gain of 9 strain excellent germplasms

单株编号	性状															
	X_1/g	X_2/mm	X_3/mm	X_4/g	X_5/mm	X_6/mm	X_7	X_8/%	X_9/%	X_{10}/%	X_{11}/（10^{-2}g·g^{-1}）	X_{12}/（g·kg^{-1}）	X_{13}/（mg·g^{-1}）	X_{14}/（10^{-2}g·g^{-1}）	X_{15}/%	X_{16}/（mg·kg^{-1}）
WQ04	46.25	51.35	38.89	13.27	37.16	23.30	1.32	71.31	6.37	1.84	1.68	46.6	2.30	192.43	91.74	111.20
WQ20	51.42	55.54	40.20	15.27	41.15	25.03	1.38	70.15	5.86	2.37	2.36	44.36	6.09	37.76	94.82	51.02
XD11	73.13	64.87	45.13	16.01	46.85	22.69	1.44	78.11	1.60	1.58	1.18	42.23	8.00	92.49	93.98	9.93
SJ05	46.36	48.57	39.28	14.86	34.79	24.31	1.24	66.89	6.19	2.13	2.76	41.44	15.70	35.46	95.08	63.71
MB11	52.85	53.44	39.93	11.96	38.99	21.66	1.34	77.40	7.70	2.05	1.73	46.62	9.10	87.91	85.95	37.07
MB12	51.71	58.31	37.22	12.50	43.56	22.51	1.57	75.74	6.83	2.50	1.93	45.03	6.70	85.47	93.50	37.09
NK13	51.53	59.63	38.98	15.38	43.29	23.65	1.53	70.02	5.58	1.55	1.87	41.62	8.90	276.68	94.03	147.29
MB05	63.61	58.52	41.34	10.18	39.56	21.05	1.42	83.95	4.41	2.14	2.74	48.41	8.70	206.27	94.04	8.60
LC28	45.57	54.60	38.40	13.66	38.11	23.75	1.42	70.03	4.53	1.59	2.87	45.53	10.20	53.07	91.00	62.32
优良单株均值	53.60	56.09	39.93	13.68	40.38	23.11	1.41	73.73	5.45	1.97	2.12	44.65	8.41	118.62	92.68	58.69
参试单株均值	35.86	46.93	35.10	9.73	33.55	20.94	1.34	72.32	4.99	1.89	1.92	43.32	7.76	80.13	92.02	51.40
增益/%	33.10	16.33	12.10	28.86	16.92	9.37	4.74	1.92	8.48	4.17	9.62	2.98	7.73	32.45	0.71	12.42

（2）聚类分析将滇藏杜英种质资源划分为 3 个类群：类群 Ⅰ 为小果型，类群 Ⅱ 为中果型，类群Ⅲ为大果型。

（3）通过 3 种评价方法，筛选出 9 株优良种质，分别为 XD11、NK13、LC28、SJ05、MB05、MB11、MB12、WQ04、WQ20，这些种质来源于类群 Ⅱ 和类群Ⅲ，在果实大小、形态和相关内含物指标上表现出显著优势，可作为滇藏杜英良种培育和快速扩繁的基础材料。

研究结果将为云南省滇藏杜英良种培育和开发利用提供重要支撑，未来可充分利用各层次遗传变异，多途径提升滇藏杜英果实产量和药用价值，以推动滇藏杜英产业可持续发展。

致谢　感谢保山市林业和草原技术推广站黄佳聪对本研究中样品采集和数据分析给予的宝贵指导。

参 考 文 献

［1］ 国务院办公厅. 关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见 [EB/OL]. (2024−09−12) [2025−01−03]. https://www.gov.cn/zhengce/content/202409/content_6974838.htm.
General Office of the State Council. Opinions on practicing the grand food vision and building a diversified food supply system [EB/OL]. (2024−09−12) [2025−01−03]. https://www.gov.cn/zhengce/content/202409/content_6974838.htm.

［2］ 中国植物志编委会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
Flora of China Editorial Committee. Flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1989.

［3］ 董全忠. 滇藏杜英作为野生果品植物资源开发利用的探讨 [J]. 中国野生植物资源, 1995(4): 15−17.
Dong Q Z. A study on exploiting *Elaeocarpus braceanus* as a wild fruit resource[J]. China Wild Plant Resour, 1995(4): 15−17.

［4］ Wang Y C, Duan E D, Yang X, et al. Comparative analysis of metabolome and transcriptome in the fruits and leaves of *Elaeocarpus braceanus*[J]. Food Bioscience, 2023(56): 113975.

［5］ Kim C H, Kim J E, Song Y J. Antiviral activities of quercetin and isoquercitrin against human herpesviruses[J]. Molecules, 2020, 25(10): 2379.

［6］ Kim M J, Kim Y Y, Choi Y A, et al. Elaeocarpusin inhibits mast cell-mediated allergic inflammation[J]. Frontiers in Pharmacology, 2018(9): 591.

［7］ Wang H Q, Peng C Z, Chen Y G. Phenolics from *Elaeocarpus braceanus*[J]. Chemistry of Natural Compounds, 2015, 51: 1167−1168.

［8］ Li H, Zhang Y Y, Liu Z J, et al. Exploring antioxidant activities and inhibitory effects against α-amylase and α-glucosidase of *Elaeocarpus braceanus* fruits: insights into mechanisms by molecular docking and molecular dynamics[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2024(59): 343−355.

［9］ 房凡, 贾黎明, 蒋晓辉, 等. 基于 24 个表型性状的中国黄连木优良单株选择 [J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(2): 40−50.
Fang F, Jia L M, Jiang X H, et al. Selection of superior individual *Pistacia chinensis* based on 24 phenotypic traits[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2): 40−50.

［10］ 杜庆鑫, 庆军, 刘攀峰, 等. 杜仲种质资源果实性状变异及综合评价 [J]. 林业科学研究, 2021, 34(5): 13−23.
Du Q X, Qing J, Liu P F, et al. Variation in fruit traits of *Eucommia ulmoides* germplasm resources and their comprehensive evaluation[J]. Forest Research, 2021, 34(5): 13−23.

［11］ 王娅丽, 顾志杰, 贾巧霞. 37 份文冠果优新种质资源表型性状遗传变异分析 [J]. 林业科学研究, 2022, 35(5): 52−62.
Wang Y L, Gu Z J, Jia Q X. Genetic variation analysis of phenotypic traits of 37 *Xanthoceras sorbifolium* elite

germplasms[J]. Forest Research, 2022, 35(5): 52−62.

[12] 杨兵兵, 姚小华, 张成才, 等. 薄壳山核桃无性系种实性状综合评价 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(5): 57−66.
Yang B B, Yao X H, Zhang C C, et al. Comprehensive evaluation of seed and fruit traits of thin shell of pecan clones[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2023, 45(5): 57−66.

[13] 吴建花, 杨开保, 杨晏平, 等. 滇西地区滇橄榄自然居群果实经济性状变异研究 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学), 2016, 30(2): 281−287.
Wu J H, Yang K B, Yang Y P, et al. Variation of fruit economic traits in natural populations of *Phyllanthus emblica* in western Yunnan[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2016, 30(2): 281−287.

[14] 李佳妮, 吴美珍, 李煜, 等. 浙江红花油茶实生群体性状变异及综合评价. 森林与环境学报, 2024, 44(3): 274−282.
Li J N, Wu M Z, Li Y, et al. Comprehensive analysis of the phenotypic variation among seedling populations of *Camellia chekiangoleosa*[J]. Journal of Forest and Environment, 2024, 44(3): 274−282.

[15] 熊彪, 齐季, 董树斌, 等. 基于种实性状的山胡椒优良单株选择 [J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(5): 10−14.
Xiong B, Qi J, Dong S B, et al. Superior individual selection of *Lindera glauca* based on fruit and seed traits[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2016, 44(5): 10−14.

[16] 江明军, 国靖, 赵祥树, 等. 不同种源文冠果种实性状差异及优良单株筛选 [J]. 森林与环境学报, 2023, 43(3): 265−271.
Jiang M J, Guo J, Zhao X S, et al. Differences of *Xanthoceras sorbifolia* traits from different provenances and selection of superior individual plants[J]. Journal of Forest and Environment, 2023, 43(3): 265−271.

[17] 刘英, 王帅, 王慧敏, 等. 山桐子果实性状变异规律及优良单株选择 [J]. 森林与环境学报, 2022, 42(5): 536−543.
Liu Y, Wang S, Wang H M, et al. Variation pattern of fruit traits and superior individual selection in *Idesia polycarpa*[J]. Journal of Forest and Environment, 2022, 42(5): 536−543.

[18] 刘济铭, 陈仲, 孙操稳, 等. 无患子属种质资源种实性状变异及综合评价 [J]. 林业科学, 2019, 55(6): 44−54.
Liu J M, Chen Z, Sun C W, et al. Variation in fruit and seed properties and comprehensive assessment of germplasm resources of the genus *Sapindus*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(6): 44−54.

[19] Dong Y, Sun W M, Yue Z H, et al. Phenotypic diversity and relationships of fruit traits in persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) germplasm resources[J]. Agriculture, 2023(13): 1804.

[20] Li H G, Wang R Z, Tian Z W, et al. Phenotypic variation and diversity in fruit, leaf, fatty acid, and their relationships to geoclimatic factors in seven natural populations of *Malania oleifera* Chun et S. K. Lee[J]. Forests, 2022(13): 1733.

[21] 许兴华, 黄启伦, 李善文, 等. 美洲黑杨种质资源创制和综合评价 [J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(8): 79−86.
Xu X H, Huang Q L, Li S W, et al. Creation and comprehensive evaluation of *Populus deltoides* germplasm resources[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(8): 79−86.

（责任编辑　赵田芸
责任编委　张建国）