

中南林业科技大学学报

Journal of Central South University of Forestry & Technology

ISSN 1673-923X，CN 43-1470/S

《中南林业科技大学学报》2026年第10期

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923X.2026.10.008

论文标题： 云南栲[木衣]果实变异类型划分及优良类型筛选

作　　者： 梁敬凯，张新洛，李菊彩，等

收稿日期： 2025-10-10

引文格式： 梁敬凯,张新洛,李菊彩,等.云南栲[木衣]果实变异类型划分及优良类型筛选[J].中南林业科技大学学报,2026,46(10):92-101.

Liang J K, Zhang X L, Li J C, et al. Classification of fruit variation types and screening of superior types of *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. in Lancang County, China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(10):92-101.

相关论文推荐

Recommended articles

云南栲[木衣]R2R3-MYB转录因子鉴定与表达分析

Identification and expression analysis of R2R3-MYB transcription factors in *Docynia delavayi*

不同种源马缨杜鹃种子表型性状分析与优良种源筛选

Analysis of seed traits and selection of superior provenances of *Rhododendron delavayi* from different provenances

69个东北杏无性系果实表型多样性及优良无性系筛选

Phenotypic traits diversity analysis and selection of superior clones of 69 apricot (*Prunus mandshurica*) clones

科尔沁沙地92份元宝枫种仁油脂性状分析与油用优良单株筛选

Analysis of oil traits in 92 samples of *Acer truncatum* seeds from Horqin sandy land and screening of superior oil-related individuals

浙江红花油茶优株筛选与综合评价

Selection and comprehensive evaluation of superior individual plant in *Camellia chekiangoleosa*

高皂苷或高多酚含量川滇无患子优良单株的筛选

Selection of superior individuals of *Sapindus delavayi* with high content of saponins or polyphenols

Doi:10.14067/j.cnki.1673-923x.2026.10.008
http: //qks.csuft.edu.cn

云南栘 [木衣] 果实变异类型划分及优良类型筛选

梁敬凯[1]，张新洛[1]，李菊彩[2]，王大玮[1]

（1. 西南林业大学 a. 林学院；b. 西南山地森林资源保育与利用教育部重点实验室；c. 云南省高校林木遗传改良与繁育重点实验室，云南 昆明 650224；2. 昆明市西山林场，云南 昆明 650100）

摘　要：【目的】通过对云南栘 [木衣] 果实的表型性状和有效成分进行测定分析，筛选出优良的变异类型，为云南栘良种选育提供理论依据。【方法】以澜沧拉祜族自治县（以下简写为澜沧县）云南栘果实为研究对象，根据果实大小、形状和颜色将其划分为 12 种变异类型，并测定总酸、总糖、单宁、黄酮、粗蛋白、维生素 C 和粗纤维 7 种有效成分含量。通过主成分分析、相关性分析、分值赋予法和综合评分法对 12 种类型进行综合评价。【结果】基于果实表型性状（果实大小、果实形状、果实颜色）的变异特征，将其划分为 12 种变异类型（小球黄型、小球红黄型、小椭圆黄型、小椭圆红黄型、中球黄型、中球红黄型、中椭圆黄型、中椭圆红黄型、大球黄型、大球红黄型、大椭圆黄型、大椭圆红黄型）。通过果实有效成分测定分析（总酸、总糖、单宁、黄酮、粗蛋白、维生素 C、粗纤维），发现各性状均存在显著变异，变异系数依次为黄酮（39.92%）＞总糖（27.25%）＞粗纤维（20.83%）＞维生素 C（18.42%）＞粗蛋白（12.50%）＞总酸（10.39%）＞单宁（2.31%）。相关性分析结果显示，黄酮、维生素 C 及总糖含量均与果实横径、纵径、单果质量和果形指数呈极显著正相关。主成分分析结果进一步表明，单果质量、横径、纵径、总糖和黄酮是影响果实形态变异的主要指标，累计贡献率达 70.795%。基于主成分的排序结果显示，PC1 与 PC2 能够清晰地区分“大、中、小”3 类果型，各类果型内部聚集度高且分类边界明显。采用分值赋予法得到的“大型果＞中型果＞小型果”品质排序结果，与 PCA 分析结论一致。【结论】云南栘果实具有丰富的表型和有效成分变异，对 12 种类型进行鉴定筛选，筛选出 4 个优良类型，可为云南栘良种选育和资源开发利用提供科学依据。

关键词：云南栘 [木衣]；类型划分；果实性状变异；优良类型筛选

中图分类号：S722.3^{+}3　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1673-923X(2026)10-0092-10

Classification of fruit variation types and screening of superior types of *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. in Lancang County, China

Liang Jingkai[1], Zhang Xinluo[1], Li Jucai[2], Wang Dawei[1]

(1.a.School of Forestry; b.Key Laboratory of the Ministry of Education for Conservation and Utilization of Southwest Mountain Forest Resources; c.Key Laboratory of Genetic Improvement and Breeding of Forest Trees in Yunnan Universities, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 2.Xishan Forest Farm, Kunming 650100, Yunnan, China)

Abstract:【Objective】This study screened superior variant types through phenotypic trait analysis and measurement of nutritionally valuable components in the fruits of *Docynia delavayi,* providing a theoretical basis for the breeding of high-quality Docynia delavayi cultivars.【Method】Taking the fruits of *Docynia delavayi* from Lancang County as the subject of study, twelve variant types were classified based on fruit size, shape, and color. Seven nutritional components—total acidity, total sugars, tannins, flavonoids, crude protein, vitamin C, and crude fiber—were measured. Comprehensive evaluation of the twelve types was conducted using principal component analysis, correlation analysis, score assignment method, and integrated scoring method.【Result】Based on the variation characteristics of fruit phenotypic traits (fruit size, fruit shape, fruit color), these are categorized into 12 variation types: small globular

收稿日期（Received）：2025-10-10　　**修订日期**（Revised）：2026-01-04

基金项目：国家自然科学基金项目（32460401）

第一作者：梁敬凯（liangjingkai@swfu.edu.cn），硕士研究生。

通信作者：王大玮（wangdawei@swfu.edu.cn），教授，博士，博士研究生导师。李菊彩（1131352127@qq.com），林业工程师。

引文格式：梁敬凯 , 张新洛 , 李菊彩 , 等 . 云南栘 [木衣] 果实变异类型划分及优良类型筛选 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2026,46(10): 92-101.

Liang J K, Zhang X L, Li J C, et al. Classification of fruit variation types and screening of superior types of *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. in Lancang County, China[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2026,46(10):92-101.

yellow type, small globular red-yellow type, small oval yellow type, small oval red-yellow type, medium globular yellow type, medium globular red-yellow type, medium oval yellow type, medium oval red-yellow type, large globular yellow type, large red-yellow type, large oval yellow type, large oval red-yellow type). Analysis of fruit constituents (total acidity, total sugars, tannins, flavonoids, crude protein, vitamin C, crude fiber) revealed significant variation across all traits. The coefficients of variation were as follows: flavonoids (39.92%) > total sugars (27.25%) > crude fiber (20.83%) > vitamin C (18.42%) > crude protein (12.50%) > total acidity (10.39%) > tannin (2.31%). Correlation analysis revealed extremely significant positive correlations between flavonoid, vitamin C, and total sugar content with fruit transverse diameter, longitudinal diameter, individual fruit weight, and fruit shape index. Principal component analysis further indicated that individual fruit weight, transverse diameter, longitudinal diameter, total sugar, and flavonoids were the primary indicators influencing fruit morphological variation, cumulatively accounting for 70.795% of the variance. Principal component-based ranking revealed that PC1 and PC2 clearly distinguished the 'large, medium, and small' fruit size categories, with high internal clustering and distinct classification boundaries within each category. The quality ranking obtained using the score assignment method—'large fruit > medium fruit > small fruit'—was consistent with the PCA analysis conclusions.【Conclusion】The fruits of *Docynia delavayi* exhibit rich phenotypic variation and nutritional bioactive compounds. Twelve types were identified and screened, yielding four superior types. This provides a scientific basis for the breeding of high-quality *Docynia delavayi* cultivars and the development and utilization of its resources.

Keywords: *Docynia delavayi*; type classification; fruit trait variation; superior type screening

云南柊[木衣]*Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. 为蔷薇科 Rosaceae 柊 [木衣] 属 *Docynia*，为多年生木本植物，是我国药食同源的重要植物资源。云南柊果实富含类黄酮、氨基酸、维生素 C 和萜类等物质，其成熟果实具有浓郁独特的香味，广受热带地区各少数民族群众喜爱 [1-5]。此外，云南柊果实、根、皮和叶均含有丰富的多酚、单宁和黄酮类生物活性物质，具有抗氧化、降血糖和血脂等功效，被广泛应用于傣、彝、景颇及哈尼等少数民族的民族药物中 [6-9]。对云南柊果实生物活性物质提取 [10]、分子标记开发及体系建立 [11]、遗传多样性分析 [12]、基因表达调控 [13] 等研究的不断深入，为云南柊的良种选育奠定了理论基础。总的来说，云南柊是一种集生态、食用和药用于一身的经济树种，具有较高的开发利用价值 [14]。然而，目前除云南省普洱市有少量人工栽培外，大部分仍处于野生状态，亟待开展良种选育，提高良种利用率，提升市场竞争力。

类型划分是依据形态变异中比较稳定的性状，对各形态特征进行比较分析，去除形态特征不明显的、不易识别的以及无显著差异的类型，最后根据其突出的特征性状进行划分 [15]。对山桐子果实性状自然变异及类型划分的研究表明，根据山桐子果柄长度、果粒纵径和果粒横径等表型性状可将果实类型划分出 6 种变异类型 [16]。对野生黑果枸杞的研究也通过表型性状划分出了 10 个变异类型 [17]。这些研究表明，基于表型性状开展的变异类型划分具有重要的意义。由于植物果实的表型性状比其他器官（组织）的表型性状遗传特征更加稳定，因此基于果实表型性状变异进行类型划分，并按照不同的育种目标筛选优良的变异类型可为果树良种选育奠定基础 [18]。表型选择法、连续选择法和综合评分法是目前类型划分中常见的 3 种划分方式。在诃子果实性状变异研究中开展了表型选择法、连续选择法和综合评分法的对比分析，结果表明综合评分法不仅能有效利用当地种质资源，而且所选育的优树都能表现出显著的环境适应性和遗传稳定性，被认为是当前林木育种中最为高效的遗传改良途径之一 [19]。诃子果实性状变异的研究也表明，综合评价法综合考虑植物性状，降低优选指标的偏差，在基于果实性状优选过程中备受青睐 [20]。因此，本研究基于综合评分法开展果实类型划分，可为云南柊后续良种选育和发展提供理论依据。

开展果实变异研究和优树选择工作，有助于种质资源的收集、保存、鉴定、评价、利用以及良种选育，对推动林木种质资源的可持续开发利用具有重要意义。本研究基于澜沧县云南柊果实资源全面开展野外调查与收集，通过对表型性状的类型划分、有效成分含量测定及其变异类型分析，旨在筛选云南柊优良类型，为云南柊的资源保护及合理利用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况及材料初选

试验样地位于云南省普洱市澜沧县东部糯扎渡镇（100°07′ ～ 100°34′ E，22°23′ ～ 22°41′ N），海拔 578 ～ 2 430 m，地处横断山脉怒山山系南段，属于亚热带季风气候，雨量充沛，日照充足，旱

季和雨季分明。主要采集云南省澜沧县中部和东南部已达盛果期且无病害的果实，对比分析果实大小、形状、颜色等单性状指标并进行果实类型分类。为确保样品具有足够的代表性，一律选择立地条件基本一致，树龄在 15 ～ 30 a 的个体，共选取 200 株，且每株候选优树的距离保持在 30 m 以上。在云南杪果实类型初步分类工作完成后，统计不同类型的样本数，并从不同的类型中随机挑选 3 ～ 6 株生长基本一致、无明显病虫害的植株，在植株的东南西北四个方位各选取 10 个成熟度相同、果色、果型和大小相似的果实，作为后续试验材料。

1.2 果实变异类型划分及品质测定

1.2.1 果实外观品质测定

采集果实后，带回实验室对果实表型进行测量，从各类型中随机选取 90 个果实样本，使用电子天平（精度 0.1 g）测量单果质量，并采用数显游标卡尺（精度 0.01 mm）测量果实横径和纵径，计算果形指数（纵径 / 横径），3 次重复。将果实清洗干净后，将除果核外的部分切成 2 ～ 3 cm 的小块，为防止果实成分遇热分解，于恒温烘箱内 45 ℃烘至恒质量，用多功能粉碎机将烘干的果肉磨至面粉状且无明显颗粒，装袋备用。

1.2.2 果实变异类型划分

根据云南杪果实大小、果实形状、果实颜色开展类型划分，具体划分标准如下：按照果实的大小划分为大果型、中果型、小果型 3 种类型，果实较大，单果质量在 60 g 以上，平均果径大于 60 mm，为大果型；果实中等大小，单果质量在 30 ～ 60 g，平均果径在 30 ～ 60 mm，为中果型；果实极小，单果质量小于 30 g，平均果径小于 30 mm，为小果型。按照果实的形状划分为球形、椭圆形两种类型，圆球形、椭圆形及不规则的近球形，为球形；果实形状似梨，果实纵径大于横径，为椭圆形。按照果实的颜色划分为黄果、红黄果两种类型，果实颜色黄，且深浅不一，为黄果；果实颜色黄中带红，为红黄果。根据各类型个体数，从每种变异类型中随机选取 10 个果实，利用 SPSS 26.0 统计软件对各表型性状差异进行单因素方差分析及显著性检验。如果各性状在变异类型内无显著差异，而在类型间差异均达到显著水平，说明各变异类型间差异较大，易于区别，则类型划分结果良好；反之，如果在类型内呈显著差异，而在类型间差异未达显著水平，则划分结果不可靠。

1.2.3 果实内在品质测定

云南杪果实总糖、总酸、维生素 C、黄酮、粗蛋白、单宁、粗纤维含量分别参照 GB5009.7—2016、GB12456—2021、GB14754—2010、NYT2010—2011、GB5009.5—2016、NYT1600—2008、GBT5009.10—2003 测定标准进行测定。

1.3 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2019 软件进行整理，用 SPSS 26.0 软件对果实性状、内含物标准差、变异系数和平均值进行计算，通过相关性分析、主成分分析法、分值赋予法和综合评分法筛选优良单株。

2 结果与分析

2.1 果实性状自然变异

云南杪果实性状存在丰富的变异，主要表现在果实的横径、纵径、果形指数、单果质量和平均果径 5 个方面。如表 1 所示，5 个性状的变异系数（CV）介于 9.00% ～ 54.50%，平均为 23.64%，由小到大依次是果形指数（9.00%）＜果实纵径（17.56%）＜平均果径（17.85%）＜果实横径（19.27%）＜单果质量（54.50%），变异幅度最大的是单果质量，最小的是果形指数。

2.2 果实变异类型划分及结果检验

2.2.1 果实类型划分及主要特征

云南杪果实成熟时颜色多为黄色和红黄色，

表 1 云南杪果实性状自然变异情况

Table 1 Natural variation in fruit traits of *Docynia delavayi*

形状指标 Characteristic indicators	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Average	标准差 SD	CV 类型内 Within type /%	CV 类型间 Inter-type /%
横径 Transverse diameter /mm	72.22	27.53	45.87	8.84	5.22 ～ 10.89	19.27
纵径 Longitudinal diameter /mm	66.40	28.60	45.57	8.00	5.58 ～ 9.48	17.56
单果质量 Single fruit weight /g	182.00	14.00	56.94	31.03	13.74 ～ 25.32	54.50
果形指数 Fruit shape index	1.25	0.73	1.00	0.09	4.63 ～ 8.91	9.00
平均果径 Average fruit diameter /mm	67.25	29.48	45.72	8.16	4.61 ～ 8.98	17.85

因此果实颜色可以作为类型划分的重要性状指标。在云南移果实大小方面，以平均果径为判断标准，依照果径增加 33.33% 划分为大果，果径减少 33.33% 划分为小果，可将云南移果实划分为大果、中果和小果 3 类。此外，对云南移果实形状统计分析表明，其果实的形状以椭圆形为主，球形比较特别且与椭圆形容易区分，形状一般用果形指数（果实纵径 / 横径）来表示。因此将果形指数在 0.95 ～ 1.01 之间划分为球形，果形指数大于 1.01 或小于 0.95 划分为椭圆形。综上所述，根据云南移果实的颜色、大小和形状 3 个性状指标，将云南澜沧县地区的云南移果实划分为 12 种类型，即小球黄型、小球红黄型、小椭圆黄型、小椭圆红黄型、中球黄型、中球红黄型、中椭圆黄型、中椭圆红黄型、大球黄型、大球红黄型、大椭圆黄型、大椭圆红黄型（表 2、图 1）。

表 2　云南移果实变异类型的主要特征

Table 2　Main characteristics of fruit variant types of *Docynia delavayi*

编号 No.	类型名称 Type name	果实颜色 Fruit color	果实大小 Fruit size	果实形状 Fruit shape
1	小球黄型	黄	小	球形
2	小球红黄型	红黄	小	球形
3	小椭圆黄型	黄	小	椭圆形
4	小椭圆红黄型	红黄	小	椭圆形
5	中球黄型	黄	中	球形
6	中球红黄型	红黄	中	球形
7	中椭圆黄型	黄	中	椭圆形
8	中椭圆红黄型	红黄	中	椭圆形
9	大球黄型	黄	大	球形
10	大球红黄型	红黄	大	球形
11	大椭圆黄型	黄	大	椭圆形
12	大椭圆红黄型	红黄	大	椭圆形

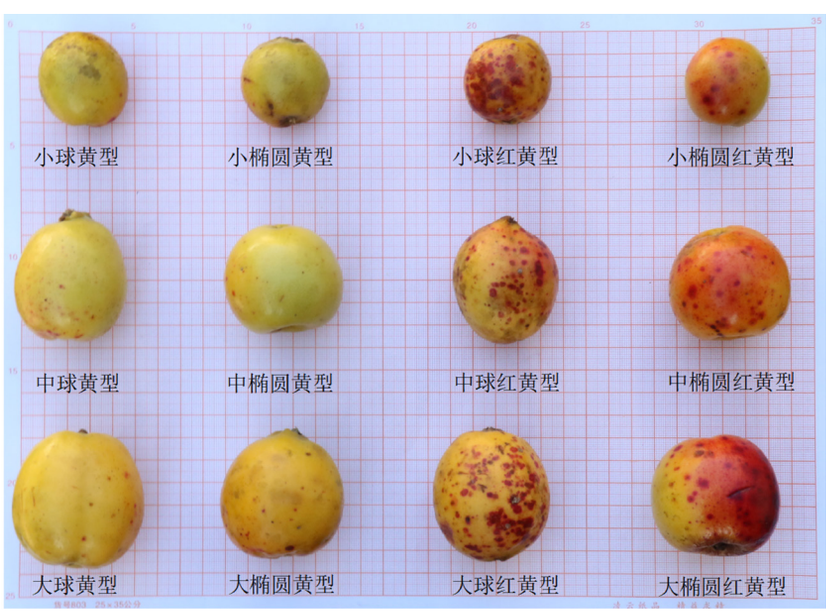


图 1　云南移果实 12 种类型

Fig. 1　Twelve types of *Docynia delavayi*

2.2.2　果实类型划分结果检验

对云南移果实表型性状进行单因素方差分析和显著性检验分析，结果表明各性状在变异类型内无显著差异，而在类型间差异均达到显著水平（表 3），说明各变异类型间差异较大，易于区别。

2.3　果实有效成分变异分析

通过对云南移果实总酸、总糖、维生素 C、黄酮、单宁、粗蛋白和粗纤维 7 个有效成分测定分析表明，7 个性状变异系数介于 2.31% ～ 39.92%，其中黄酮的变异系数最高，变异系数为 39.92%，单宁的变异系数最低，变异系数为 2.31%。总糖、粗纤维、维生素 C、粗蛋白和总酸的变异系数分别为 27.25%、20.83%、18.42%、12.50%、10.39%，说明其果实有效成分间存在变异，单宁是最稳定的功能成分（表 4）。

2.4　果实有效成分和表型性状相关性分析

通过对云南移果实有效成分和表型性状相关性分析表明（图 2），黄酮含量与总糖（r=0.81，P ＜ 0.01）、粗蛋白（r=0.82，P ＜ 0.01）、单果质量（r=0.81，P ＜ 0.01）及果实形态指标（纵径 r=0.75，横径 r=0.77）呈极显著正相关，与维生素 C 呈显著正相关（r=0.67，P ＜ 0.05），但与果形

指数呈负相关（r=-0.31）。果实形态特征中，横径与纵径（r=0.97，$P < 0.01$）、单果质量（r=0.93，$P < 0.01$）均呈现极显著协同增长趋势，而果形指数与多数有效指标呈负向关联，说明果形指数越高，次生代谢产物积累水平越低。

表 3　单因素方差分析及显著性检验 †

Table 3　One-way analysis of variance and significance test

指标 Indicator	类型内 F 值 F-value within type	类型间 F 值 F-value inter type	显著性 Significance
果实横径 Fruit transverse diameter /mm	7.91**	245.84**	0.00
果实纵径 Fruit longitudinal diameter /mm	4.73**	313.14**	0.00
果形指数 Fruit shape index	5.87**	11.97**	0.00
单果质量 Single fruit weight /g	20.44**	273.75**	0.00

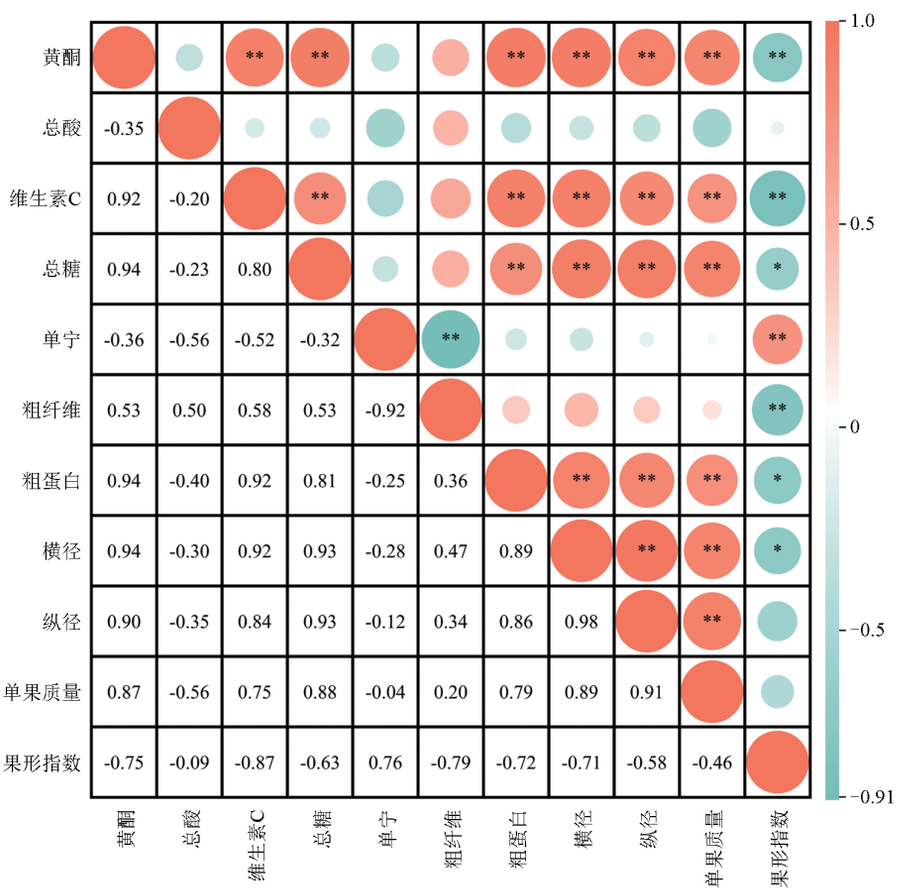
† 数字后面的 ** 号为相关系数的显著性检验结果，表示 $P < 0.01$。

The ** after the number is the result of significance test of correlation coefficient, indicating $P < 0.01$.

表 4　各有效成分含量的均值和变异系数分析

Table 4　Analysis of mean values and coefficients of variation for nutrient content

有效成分 Active Ingredients	均值 Average	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 SD	变异系数 CV /%
总酸 Total acid /(g·100 g^{-1})	21.55	24.88	17.20	2.24	10.39
总糖 Total sugar /(g·100 g^{-1})	13.47	17.52	8.35	3.67	27.25
维生素 C Vitamin C /(g·100 g^{-1})	5.05	6.61	3.52	0.93	18.42
黄酮 Flavonoid /(g·100 g^{-1})	10.52	14.52	5.60	4.20	39.92
单宁 Tannin /(g·100 g^{-1})	1.30	1.35	1.23	0.03	2.31
粗蛋白 Crude protein /(g·100 g^{-1})	1.68	2.00	1.37	0.21	12.50
粗纤维 Crude fiber /(g·100 g^{-1})	1.44	1.78	0.61	0.30	20.83



数字后面的 * 号为相关系数的显著性检验结果，* 表示 $P < 0.05$，** 表示 $P < 0.01$。

The * sign after the number is the result of significance test of correlation coefficient, * indicates $P < 0.05$, ** indicates $P < 0.01$.

图 2　云南杪果实含量和表型性状相关性分析

Fig. 2　Correlation analysis of the fruit content and phenotypic traits of *Docynia delavayi*

2.5　主成分分析

对云南栎果实各指标进行主成分分析，以果实表型性状和内含物的数据为基础，计算主成分的贡献率、特征值及累计贡献率。主成分分析显示 3 个主成分的特征值均大于 1.0，符合主成分分析的要求，累计方差贡献率 70.795%，能反映 11 个性状指标的综合信息（表 5）。其中，第 1 主成分（PC1）中，单果质量、横径、总糖、纵径、黄酮的特征向量较大，分别是 0.888、0.879、0.861、0.860、0.859，它们是影响 PC1 方差变异的主要因素，这 5 个指标均对 PC1 产生正向影响。PC1 较大时，有利于高单果质量、横径、黄酮、总糖、纵径类型果实资源的改良。在第 2 主成分（PC2）中，总酸、粗纤维、单宁的特征向量较大，分别是 0.681、0.641、0.580，它们是影响 PC2 方差变异的主要因素，其中单宁与 PC2 呈正相关，总酸、粗纤维与 PC2 呈负相关，说明 PC2 较小时，有利于总酸、粗纤维类型果实资源的改良。在第 3 主成分（PC3）中，维生素 C、粗蛋白、果形指数的特征向量较大，分别是 0.503、0.411、0.662，它们是影响 PC3 方差变异的主要因素，其中果形指数与 PC3 呈正相关，维生素 C 和粗蛋白呈负相关，说明 PC3 较小时，有利于维生素 C、粗蛋白类型果实资源的改良。这些分析结果表明，云南栎果实核心指标是单果质量、果实横径、总糖、果实纵径和黄酮含量。

表 5　云南栎果实指标主成分载荷矩阵
Table 5　Principal component loading matrix of *Docynia delavayi* indicators

指标 Indicator	PC1	PC2	PC3
单果质量 Single fruit weight /g	0.888	0.024	0.018
横径 Transverse diameter /mm	0.879	-0.040	0.123
总糖 Total sugar /(g·100 g^{-1})	0.861	0.050	0.211
纵径 Longitudinal diameter /mm	0.860	0.171	0.377
黄酮 Flavonoid /(g·100 g^{-1})	0.859	0.098	-0.125
维生素 C Vitamin C /(g·100 g^{-1})	0.694	0.011	-0.503
粗蛋白 Crude protein /(g·100 g^{-1})	0.614	0.185	-0.411
总酸 Total acid /(g·100 g^{-1})	0.256	-0.681	0.299
粗纤维 Crude fiber /(g·100 g^{-1})	0.464	-0.641	-0.009
单宁 Tannin /(g·100 g^{-1})	0.104	0.580	-0.269
果形指数 Fruit shape index	0.052	0.569	0.662
特征值 Eigenvalue	4.934	1.613	1.240
贡献率 Contribution rate /%	44.854	14.668	11.273
累计贡献率 Cumulative contribution rate /%	44.854	59.522	70.795

表 6　12 种云南栎果实类型主成分得分及排名
Table 6　Principal component score and rank of 12 *Docynia delavayi* types

编号 No.	名称 Name	F_1	F_2	F_3	总得分 F Total score F	排名 Rank
1	小球黄型	-3.05	-0.37	-0.55	-1.48	12
2	小球红黄型	-1.74	-2.52	-0.54	-1.21	10
3	小椭圆黄型	-2.21	-0.11	-0.21	-1.03	9
4	小椭圆红黄型	-3.35	2.11	-0.33	-1.23	11
5	中球黄型	-0.76	-1.67	-0.05	-0.59	8
6	中球红黄型	-0.45	-0.02	2.38	0.06	7
7	中椭圆黄型	0.68	-0.16	0.70	0.36	6
8	中椭圆红黄型	0.97	0.08	-0.11	0.43	5
9	大球黄型	2.29	0.26	0.38	1.11	4
10	大球红黄型	2.22	1.19	-0.08	1.16	2
11	大椭圆黄型	2.75	0.39	-0.23	1.26	1
12	大椭圆红黄型	2.67	0.82	-1.39	1.16	3

以各主成分的方差贡献率为权重，结合主成分得分构建综合评价函数，计算 12 种不同类型的综合得分（表 6）。依据综合得分划分等级：得分大于 1.00 共 4 种（大椭圆黄型、大球红黄型、大椭圆红黄型、大球黄型）；得分在 0.06 ～ 1.00 共 3 种（中椭圆红黄型、中椭圆黄型、中球红黄型）；得分小于 0.06 共 5 种（中球黄型、小椭圆黄型、小球红黄型、小椭圆红黄型、小球黄型）。其中，大椭圆黄型得分最高（1.26），小球黄型得分最低（-1.48）。

利用方差贡献率最大的第 1 和第 2 主成分为横、纵坐标，对样品进行主成分分析（PCA）。结果显示（图 3），PC1 贡献率 44.854%，PC2 贡献率 14.668%，3 类果实（小型 / 红色、中型 / 绿色、大型 / 蓝色）之间可明显区分，说明这 3 组样本的果实类型存在显著差异。小型果实集中于 PC1 负值区，中型果实分布于 PC1 值接近 0 的区域，大型果实位于 PC1 正值区，表明云南栎果实类型沿 PC1 轴呈现由小型向大型果实的连续变化趋势，

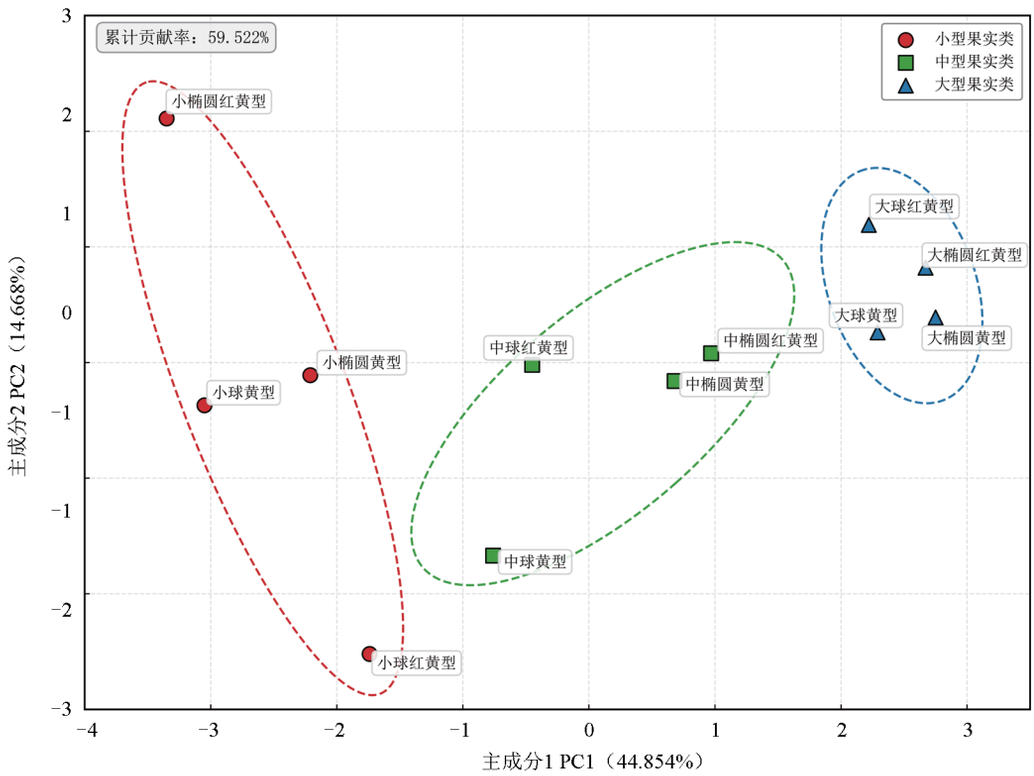


图 3 云南杪 12 种果实类型主成分 PCA 图

Fig. 3 Scatter cluster analysis plot of principal components (PC1-PC2) for 12 fruit types of *Docynia delavayi*

PC2 则进一步区分同一果型内部的结构差异，但对整体分类影响较小。

结合旋转后的成分载荷矩阵（表 5）可知，PC1 在单果质量、果实纵径和横径以及总糖、黄酮、维生素 C 和粗蛋白指标上具有较高正载荷，表明 PC1 主要反映果实大小及其核心有效品质的综合特征。因此，PC1 轴位置越靠右的果实类型（如大型果实类中的大椭圆红黄型、大球红黄型），其综合品质表现越优；而位于最左侧的小型果实类（如小球红黄型）品质相对最差。PC2 在总酸、粗纤维和单宁含量以及果形指数指标上载荷较高，主要体现果实风味物质组成及形态结构特征的差异。PC2 轴越靠正值的果实类型，其果实风味品质越高。综上所述，3 类果型空间分离度高且同类聚集度良好，且主成分累计贡献率可反映大部分原始指标信息，该结果直观印证了“大型果实类＞中型果实类＞小型果实类”的品质排序，直观验证了不同果型的综合品质差异。

2.6 分值赋予法评价

在以云南杪果实评选表的标准对 12 种不同类型云南杪果实内黄酮、总酸、维生素 C、总糖、单宁、粗蛋白、粗纤维含量进行客观评分和人为主观评分后，排名顺序依次是小球黄型＜小椭圆红黄型＜小椭圆黄型＜小球红黄型＜中球黄型＜中球红黄型＜中椭圆红黄型＜中椭圆黄型＜大球黄型＜大球红黄型＜大椭圆黄型＜大椭圆红黄型，总分排名第 1 的是 12 号（大椭圆红黄型），得分为 80 分，其他分数较高的类型有 11 号（大椭圆黄型）、10 号（大球红黄型）、9 号（大球黄型）、7 号（中椭圆黄型）如表 7 所示。

表 7 分值赋予法得分及排名

Table 7 Rank and scores of value assignment method

编号 No.	排名 Rank	客观分 Objective score	主观分 Subjective score	总分 Total score
1	12	32	9	41
2	9	44	10	54
3	10	44	8	52
4	11	36	9	45
5	8	50	10	60
6	7	50	11	61
7	5	60	10	70
8	6	58	10	68
9	4	60	11	71
10	3	66	10	76
11	2	67	11	78
12	1	68	12	80

2.7　综合评分

为了能够更准确地进行云南栘果实优良类型的筛选，将分值赋予法与主成分分析进行综合评比，计算出综合得分后再进行排名，计算方式按照综合得分 =60% 主成分分析得分 +40% 分值赋予得分。综合评分最高的是编号 12，类型名称是大椭圆红黄型，分值为 32.70，其他类型按照综合评分从大到小依次是 11 号（大椭圆黄型，31.96）、10 号（大球红黄型，31.10）、9 号（大球黄型，29.07）、7 号（中椭圆黄型，28.22）、8 号（中椭圆红黄型，27.46）、6 号（中球红黄型，24.44）、5 号（中球黄型，23.65）、2 号（小球红黄型，20.87）、3 号（小椭圆黄型，20.18）、4 号（小椭圆红黄型，17.26）、1 号（小球黄型，15.51）如表 8 所示。

表 8　综合评分结果及排名
Table 8　Composite score results and ranking

编号 No.	分值赋予得分 Value assignment method score	主成分分析得分 Principal component analysis score	总分 Total score	排名 Rank
1	41	-1.48	15.51	12
2	54	-1.21	20.87	9
3	52	-1.03	20.18	10
4	45	-1.23	17.26	11
5	60	-0.59	23.65	8
6	61	0.06	24.44	7
7	70	0.36	28.22	5
8	68	0.43	27.46	6
9	71	1.11	29.07	4
10	76	1.16	31.10	3
11	78	1.26	31.96	2
12	80	1.16	32.70	1

3　讨　论

果实大小、颜色等外观品质指标和总糖、黄酮等多种内在品质指标是进行果实品质评价和优异种质筛选的重要依据 [21]。本研究通过对云南栘果实表型性状变异分析发现，单果质量变异最大，果实横径与纵径较为稳定，与中国李 *Prunus salicina* Lindl. 等物种的表型变异规律一致 [22]。本研究以果实颜色、大小及形状划分出的 12 个类型的方法与沙拐枣 *C. mongolicum* Turcz. 研究的方法相同 [23]，同时在 4 个锥栗品种与‘檀桥’板栗种间杂交亲和性及果实品质分析研究中也提到了果实表型及其有效品质等是重要的经济性状 [24]，说明其果实的表型性状受到了一定的环境影响。果实有效成分中，黄酮与总糖变异较大，而粗蛋白、总酸与单宁较为稳定，与蓝莓 *Vaccinium corymbosum* 品质性状的研究结果相似 [25]。相关性分析结果显示，黄酮、维生素 C、总糖含量与横径、纵径、单果质量和果型指数之间呈极显著正相关，表明果实形态与质量是影响有效物质积累的重要因素，可作为优良类型筛选的关键指标，与软籽石榴 *Liuyuehong pomegranate* 的研究结果相符，进一步证明了果实形状与有效品质之间的内在关联性 [26]。

主成分分析结果显示，单果质量、横径、纵径、总糖和黄酮是影响果实形态变异的主要指标，累计贡献率达 70.795%，表明上述性状可作为类型划分的重要依据 [27]。根据方差贡献率的 PCA 分析显示，PC1 与 PC2 清晰划分出“大 - 中 - 小”果型的品质梯度，同类果型聚集度高、分类边界明确；分值赋予法则以“客观实测 + 主观感官”评分明确果实类型排序，其“大型果＞中型果＞小型果”的得分排序与 PCA 分析结果一致。PCA 分析揭示了品质差异的核心驱动因子是果实大小、总糖和黄酮含量，分值赋予法则通过客观评分和人为主观评分细化了果实变异类型的划分 [28-29]。2 种方法相互印证，共同支撑了云南栘果实品质评价结论的可靠性，为后续品种分级与栽培优化提供了科学依据。

糖分与生物活性物质的含量是决定果实品质的关键成分。本研究基于综合评分结果，共筛选出 4 种果实优良类型（大椭圆红黄型、大椭圆黄型、大球红黄型和大球黄型），其中大椭圆红黄型得分最高。该类型单果质量、果实横径及纵径最大，总糖、黄酮、维生素 C 等含量显著高于其他类型，证明其在鲜食与产品加工中有明显优势。此外，主成分分析结果显示该类型果实横径、纵径与果形指数对资源区分贡献突出，表明该类性状的遗传基础较为稳定，可作为系统杂交或无性系扩繁的优良亲本材料。与大椭圆红黄型相比，大椭圆黄型同样具有高有效成分（黄酮、总糖、维生素 C）等优良性状，且果形整齐，其性状与形态指标呈显著正相关，可作为杂交亲本培育优良品种。此外，这 2 种黄酮含量较高的类型能为开发具有保健价值的果品资源提供良好遗传基础，这一特征符合当前果树育种向高有效成分和高附加值品类发展的趋势。大球黄型的维生素 C 和粗蛋白等有效指标含量丰富，可作为培育高有效商品种的重要亲本；大球红黄型果实呈球形，双色果皮具有较高观赏价值，适合作为提高果实观赏性和市场

满意度的亲本[30]。4 个优良类型在果形、单果质量和有效品质上都各具优势，可为后续开展果形稳定性和品质提升等育种工作提供重要亲本资源。此外，基于这些类型建立的多指标综合评价体系，也可为其他野生经济果树的良种选育提供参考依据。

4 结 论

本研究基于果实颜色、大小及形状将云南移划分为 12 种变异类型，进一步将其归类为大果、中果和小果 3 类，且横径与果实纵径、单果质量的相关性达到极显著水平，果实纵径与单果质量的相关性达到极显著水平，证实了基于表型性状分类的科学性。结合主成分分析、相关性分析、分值赋予及综合评分等方法，筛选出大椭圆黄型、大球红黄型、大椭圆红黄型和大球黄型 4 个优良类型，可为云南移良种选育提供理论依据。

参考文献：

[1] Tian J H, Chen Z, Jiang C, et al. Chromosome-scale genome assembly of *Docynia delavayi* provides new insights into the *α*-farnesene biosynthesis[J]. International Journal of Biological Macromolecules,2024,278:134820.

[2] 苏鹏 , 慈晓彤 , 王大玮 . 云南移 [木衣] 离体快繁和再生体系的建立 [J]. 种子 ,2024,43(11):132-138.
Su P, Ci X T, Wang D W. Establishment of in vitro rapid propagation and regeneration system of *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid.[J]. Seed,2024,43(11):132-138.

[3] 舒国荣 , 田金红 , 杨林 , 等 . 云南移 [木衣] 果实转录组 SSR、SNP、InDel 特征分析 [J]. 西部林业科学 ,2024,53(5):84-91,99.
Shu G R, Tian J H, Yang L, et al. SSR, SNP and InDel analysis based on transcriptome data of *Docynia delavayi* (Franch.) fruits[J]. Journal of West China Forestry Science,2024,53(5):84-91,99.

[4] 张浩 , 田金红 , 王大玮 , 等 . 依据云南移 [木衣] 种子萌发至成苗期间转录组的 SSR、SNP 及 InDel 特征 [J]. 东北林业大学学报 ,2025,53(2):52-57,74.
Zhang H, Tian J H, Wang D W, et al. SSR, SNP, and InDel characteristics of the transcriptome during seed germination to seedling formation in *Docynia delavayi*[J]. Journal of Northeast Forestry University,2025,53(2):52-57,74.

[5] Wang Y C, Song Y Y, Wang D W. Transcriptomic and metabolomic analyses providing insights into the coloring mechanism of *Docynia delavayi*[J]. Foods,2022,11:2899.

[6] 张宝月 , 刘国平 , 田金红 , 等 . 云南移 [木衣]TCP 基因家族全基因组鉴定与表达分析 [J]. 生物工程学报 ,2025,41(2):809-824.
Zhang B Y, Liu G P, Tian J H, et al. Genome-wide identification and expression analysis of TCP gene family in *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid.[J]. Chinese Journal of Biotechnology,2025,41(2):809-824.

[7] 陈璨 , 石辰 , 王大玮 , 等 . 云南移 [木衣]SRAP-PCR 反应体系的建立及引物筛选 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学),2021,36(6):1037-1043.
Chen C, Shi C, Wang D W, et al. Establishment of SRAP-PCR reaction system on *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. and selection of primers[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science),2021,36(6):1037-1043.

[8] 李婧婷 , 陈璨 , 徐鎏 , 等 . 云南移 [木衣] 种子萌发至成苗期间内源激素的动态变化 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版),2024,52(11):30-39,47.
Li J T, Chen C, Xu L, et al. Dynamics of endogenous hormones during seed germination to seedling establishment in *Docynia delavayi* (Franch.)[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition),2024,52(11):30-39,47.

[9] Peng J Y, Shi C, Wang D W, et al. Genetic diversity and population structure of the medicinal plant *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. revealed by transcriptome-based SSR markers[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants,2021,21:100294.

[10] Li L X, Ou W L, Wang Y C, et al. Comparison of genetic diversity between ancient and common populations of *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid.[J]. Gene,2022,829:146498.

[11] Tian J H, Shu J X, Xu L, et al. Genome-wide identification of R2R3-MYB transcription factor family in *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. and its expression analysis during the fruit development[J]. Food Bioscience,2023,54:102878.

[12] 陈颖 . 多组学联合揭示云南移与苹果属植物的亲缘关系及根皮苷对种子萌发的影响 [D]. 杨凌 : 西北农林科技大学 ,2024:2.
Chen Y. Unraveling the phylogenetic relationship between *Docynia delavayi* and *Malus* species via multi-omics analysis and investigating the impact of phloridzin on seed germination[D]. Yangling: Northwest A & F University,2024:2.

[13] 田金红 , 亚华金 , 王玉昌 , 等 . 云南移 [木衣]R2R3-MYB 转录因子鉴定与表达分析 [J]. 中南林业科技大学学报 ,2023,43(4):144-155.
Tian J H, Ya H J, Wang Y C, et al. Identification and expression analysis of R2R3-MYB transcription factors in *Docynia delavayi*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2023,43(4):144-155.

[14] Chen C, Xia X, Wang D W. Identification of nutritional components in unripe and ripe *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid. fruit by widely targeted metabolomics[J]. PeerJ,2022,10:e14441.

[15] 曹耀莲 , 罗风翔 , 贾翠娥 , 等 . 旱柳类型划分及优良类型选择研究简报 [J]. 陕西林业科技 ,1989(4):31-33.
Cao Y L, Luo F X, Jia C E, et al. Research brief on the classification of drought-resistant willow types and the selection of superior types[J]. Shaanxi Forest Science and Technology,1989(4):31-33.

[16] 岁立云 , 刘晓敏 , 李周岐 , 等 . 山桐子果实性状的自然变异及类型划分 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版),2009,37(8):115-120.
Sui L Y, Liu X M, Li Z Q, et al. Natural variation and variation types of fruit characters of *Idesia polycarpa* Maxim.[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2009,37(8):115-120.

[17] 戴国礼 , 秦垦 , 曹有龙 , 等 . 野生黑果枸杞资源形态类型划分初步研究 [J]. 宁夏农林科技 ,2017,58(12):21-24,47.
Dai G L, Qin K, Cao Y L, et al. Preliminary study on morphotype classification of wild *Lycium ruthenicum* Murr.[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2017,58(12):21-24,47.

[18] 杨璐 , 王娜 , 范少丽 , 等 . 黑桑种质资源表型性状变异特征分析 [J]. 新疆农业科学 ,2024,61(5):1172-1181.
Yang L, Wang N, Fan S L, et al. Analysis of phenotypic trait variation characteristics of *Morus nigra* L. germplasm resources[J]. Xinjiang Agricultural Sciences,2024,61(5):1172-1181.

[19] 徐鎏 , 刘宇 , 杨林 , 等 . 鲜食型云南杉 [木衣] 优树选择 [J]. 植物遗传资源学报 ,2023,24(3):903-910.
Xu L, Liu Y, Yang L, et al. Plus Tree Selection of Fresh *Docynia delavayi* (Franch.) Schneid.[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2023,24(3):903-910.

[20] 董章宏 , 蒋华 , 杨丽英 , 等 . 诃子果实性状变异及优树选择 [J]. 植物遗传资源学报 ,2025,26(4):719-730.
Dong Z H, Jiang H, Yang L Y, et al. Variation of fruit traits and plus tree selection in *Terminalia chebula* Retz.[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2025,26(4):719-730.

[21] 李雪 , 杨丽 , 王进 , 等 . 基于主成分分析的重庆地区杨梅果实品质综合评价 [J]. 果树学报 ,2026,43(5):1186-1199.
Li X, Yang L, Wang J, et al. Comprehensive evaluation of the quality of different bayberry varieties in Chongqing based on principal component analysis[J]. Journal of Fruit Science,2026, 43(5):1186-1199.

[22] 郁香荷 , 章秋平 , 刘威生 , 等 . 中国李种质资源形态性状和农艺性状的遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报 ,2011, 12(3):402-407.
Yu X H, Zhang Q P, Liu W S, et al. Genetic diversity analysis of morphological and agronomic characters of Chinese plum (*Prunus salicina* Lindl.) germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources,2011,12(3):402-407.

[23] 李得禄 , 王继和 , 马全林 . 沙拐枣属植物果实性状的数值分类研究 [J]. 中国沙漠 ,2009,29(4):718-722.
Li D L, Wang J H, Ma Q L. Numerical taxonomy of fruit characteristic of *Calligonum* L.[J]. Journal of Desert Research, 2009,29(4):718-722.

[24] 吴俊涛 , 胡英杰 , 刘兴慧 , 等 .4 个锥栗品种与 ‘ 檀桥 ’ 板栗种间杂交亲和性及果实品质分析 [J]. 中南林业科技大学学报 , 2025,45(7):65-73.
Wu J T, Hu Y J, Liu X H, et al. Analysis of the compatibility and fruit quality of four *Castanea henryi* cultivars with interspecific hybridization of *Castanea mollissima* ‘Tanqiao’[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2025,45(7): 65-73.

[25] 马凯 , 谭红 , 杨鸿波 , 等 . 贵州麻江引种蓝莓品质比较研究 [J]. 湖北农业科学 ,2012,51(14):3009-3011.
Ma K, Tan H, Yang H B, et al. Comparisons of fruit qualities of blueberry introduced to Majiang of Guizhou Province[J]. Hubei Agricultural Sciences,2012,51(14):3009-3011.

[26] 叶才华 , 王晓雯 , 杨成坤 , 等 . 套袋对 ‘ 丹若 1 号 ’ 软籽石榴果皮外观品质的影响 [J]. 中国南方果树 ,2025,54(3):209-214.
Ye C H, Wang X W, Yang C K, et al. Effect of bagging on the appearance quality of Danruo No. 1 soft seed pomegranate fruit[J]. South China Fruits,2025,54(3):209-214.

[27] 谢一青 . 小果油茶种内类型划分、评价及亲缘关系研究 [D]. 北京 : 中国林业科学研究院 ,2013:19-20.
Xie Y Q. Study on intraspecific type classification, evaluation and genetic relationship of *Camellia meiocarpa*[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry,2013:19-20.

[28] 王晓晓 , 郑旭 , 封士达 , 等 . 不同授粉组合的蓝莓果实品质分析与综合评价 [J]. 经济林研究 ,2025,43(4):121-129.
Wang X X, Zheng X, Feng S D, et al. Analysis and comprehensive evaluation of blueberry fruit quality in different pollination combinations[J]. Non-wood Forest Research,2025,43(4):121-129.

[29] 全新 , 郭志民 , 王少明 , 等 . 不同品种核桃果实形态特征及脂肪酸组分分析 [J]. 湖南林业科技 ,2020,47(6):7-14.
Quan X, Guo Z M, Wang S M, et al. Analysis of fatty acid composition and morphological characters of different varieties of walnut fruit[J]. Hunan Forestry Science & Technology,2020, 47(6):7-14.

[30] 李孝博 , 李延树 , 张万栋 , 等 .7 个梨品种在新疆和田的引种适应性评价 [J]. 中国果树 ,2025(11):26-36.
Li X B, Li Y S, Zhang W D, et al. Evaluation of the adaptability of seven pear varieties introduced in Hotan, Xinjiang[J]. China Fruits,2025(11):26-36.

[本文编校：吴　彬]