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

基于24个表型性状的中国黄连木优良单株选择

房凡 贾黎明 蒋晓辉 白倩 苏淑钗

Selection of superior individual *Pistacia chinensis* based on 24 phenotypic traits

Fang Fan, Jia Liming, Jiang Xiaohui, Bai Qian, Su Shuchai

引用本文:
房凡, 贾黎明, 蒋晓辉, 白倩, 苏淑钗. 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. doi: 10.12171/j.1000–1522.20220447
Fang Fan, Jia Liming, Jiang Xiaohui, Bai Qian, Su Shuchai. Selection of superior individual *Pistacia chinensis* based on 24 phenotypic traits[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2):40–50. doi: 10.12171/j.1000–1522.20220447

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220447

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

四倍体白桦木材纤维性状比较及优良母树选择
Comparison of tetraploid *Betula platyphylla* wood fiber traits and selection of superior seed trees
北京林业大学学报, 2017, 39(2): 9–15. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20160091

山东大青山刺槐无性系叶性状的表型变异分析与饲用优良无性系选择
Phenotypic variation analysis on leaf traits and selection of optimal forage clones of *Robinia pseudoacacia* clones in Shandong Province of eastern China
北京林业大学学报, 2021, 43(11): 62–70. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200305

白桦半同胞子代多点生长性状测定及优良家系选择
Multipoint growth trait test of half–sibling offspring and excellent family selection of *Betula platyphylla*
北京林业大学学报, 2017, 39(3): 7–15. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20160154

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

美洲黑杨表型和生理性状多样性及群体结构分析
Phenotypic and physiological trait diversity and population structure of *Populus deltoides*
北京林业大学学报, 2021, 43(6): 1–12. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200231

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

DOI:10.12171/j.1000−1522.20220447

基于 24 个表型性状的中国黄连木优良单株选择

房 凡[1] 贾黎明[1] 蒋晓辉[2] 白 倩[1] 苏淑钗[1]
（1. 林木资源高效生产全国重点实验，北京林业大学林学院，北京 100083；2. 河北省洪崖山国有林场，河北 保定 074200）

摘要:【目的】解决中国黄连木缺乏良种并改善产量普遍较低的现状，为黄连木优良品种选育提供应用材料。**【方法】**对我国 7 个省份（市、自治区）88 份中国黄连木种质测定了包括产量性状、品质性状在内的 24 项指标，利用相关性分析、聚类分析、主成分分析等统计方法，分析了指标间的变异，量化评价各经济性状。**【结果】**（1）黄连木果实性状表现丰富的多样性，产量、产油能力性状变异幅度极大，果实体积、表面积、百粒质量变异幅度相对较大，外观性状变异幅度相对较小。健康果实各项指标变异幅度均小于非健康果实。（2）单株产量与果枝率、结果枝数、单枝果穗数、果穗果量、单株果量分别呈极显著正相关，含油率与健康果实率、单枝果穗数、单株产量、冠幅单位面积产量、果实百粒质量也分别呈极显著正相关。（3）聚类分析将种质分为 4 种类群，分别为低产古树类群、大果型类群、中果型类群、小果型类群。（4）利用主成分分析，筛选出 10 份最优种质，5 份来自大果型类群，5 份来自中果型类群，综合评分前 3 名均来自大果型类群，平均增益达 56.49%。**【结论】**黄连木果实性状指标变异幅度大，为黄连木良种选育提供较大空间。大果型类群容易出现综合得分极为靠前的优良单株，中果型类群则易稳定产出综合得分较高的优良单株。陕西、山东地区具有适合中国黄连木产业发展的环境条件，更具备发展中国黄连木油用树种的潜力。

关键词：中国黄连木；表型性状；优良单株
中图分类号：S792.99 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2024)02−0040−11
引文格式：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 Fan, Jia Liming, Jiang Xiaohui, et al. Selection of superior individual *Pistacia chinensis* based on 24 phenotypic traits［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(2): 40−50.

Selection of superior individual *Pistacia chinensis* based on 24 phenotypic traits

Fang Fan[1] Jia Liming[1] Jiang Xiaohui[2] Bai Qian[1] Su Shuchai[1]
(1. State Key Laboratory of Efficient Production of Forest Resources, School of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Hongyashan State-Owned Forest Farm of Hebei Province, Baoding 074200, Hebei, China)

Abstract: ［**Objective**］This study was conducted to address the current situation of lack of improved varieties and low yield in China, and to provide application materials for the selection and breeding of improved varieties of *Pistacia chinensis*. ［**Method**］Twenty-four indicators, including yield traits and quality traits, were measured on 88 germplasm resources from seven provinces (cities and autonomous regions) in China and statistical methods such as correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis were used to analyze the variation among the indicators and to quantitatively evaluate each economic trait. ［**Result**］(1) The fruit traits of *P. chinensis* showed rich diversity, with great variation in yield and oil-producing capacity, relatively large variation in fruit volume, surface area and 100-fruit mass, and relatively small variation in appearance traits. The variation in all indicators was less in healthy

收稿日期: 2022−11−04 **修回日期:** 2023−03−14
基金项目: 国家科技基础资源调查专项（2019FY100803），中央高校基本科研业务费专项（BLX202104）。
第一作者: 房凡。主要研究方向：经济林培育与利用。Email：fangfan1016@bjfu.edu.cn 地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学林学院。
责任作者: 白倩，博士，讲师。主要研究方向：经济林。Email：baiqian0219@bjfu.edu.cn 地址：同上。苏淑钗，博士，教授。主要研究方向：经济林。Email：sushuchai@sohu.com 地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

fruit than that in unhealthy fruit. (2) Yield per tree was highly significantly positively correlated with bearing branch rate, number of the bearing branch, number of the fruit cluster per branch, number of the fruit per fruit cluster and number of the fruit per tree, respectively. Oil content was highly significantly positively correlated with healthy fruit rate, number of the fruit cluster per branch, yield per tree, yield of the unit crown area and 100-fruit mass, respectively. (3) Cluster analysis classified the germplasm into four groups: low-yielding ancient tree group, large-fruited group, medium-fruited group and small-fruited group. (4) Using principal component analysis, 10 superior germplasms were selected, five from the large-fruited group and five from the medium-fruited group. The top three overall scores were all from large-fruited taxa, with an average gain of 56.49%. [**Conclusion**] The wide variation of the fruit traits of *P. chinensis* provides a large scope for the selection and breeding of improved varieties of *P. chinensis*. The large-fruited group is prone to produce superior individuals with very high overall scores, while the medium-fruited group is prone to stably produce superior individuals with high overall scores. The Shaanxi and Shandong regions have the environmental conditions suitable for the development of *P. chinensis* industry, and have more potential for the development of *P. chinensis* oil species.

Key words: *Pistacia chinensis*; phenotypic trait; superior individual

我国石油和食用油资源严重依赖进口，在油料短缺、能源危机、化石能源废气排放导致环境污染的背景下，结合植树造林发展油用树种是我国生物质能源及食用油产业的特色和优势[1−2]。中国黄连木（*Pistacia chinensis*）是漆树科（Anacardiaceae）黄连木属（*Pistacia*）的落叶乔木，是重要的木本油料、生物质能源、用材、园林绿化等多用途树种[3−6]，果实含油率 35% 左右[7]，以其为原料生产的生物柴油达到了美国生物质燃料油及中国轻质燃料油的质量标准[8]，具有广阔的发展应用前景。黄连木适生性强、分布广泛，过去主要被用于荒山绿化，目前在我国分布面积已达 8.25×10^5 hm^2[9]，然而，其果实平均单产仅 390 kg/hm^2，原料（果实）匮乏成为限制其油用产业发展的根本因素。产量低下问题主要源于缺乏良种以及采用实生繁殖的方法，在我国生物质原料和油料缺乏的背景下，需要完成黄连木低产林的改造并实现高产稳产，这迫切需要筛选出油用经济性状优良的单株。因此，挖掘高产黄连木种质是打破低产瓶颈的根本途径，系统开展黄连木种质资源的评价与良种选育工作势在必行。

目前，黄连木优良种质选育工作严重滞后。吴志庄等[10]主要在太行山地和秦巴山区开展了优树选择工作，分别从含油率、抗虫性、产量方面筛选了高含油率、高抗虫性、高产量黄连木若干。刘新等[11]在滕州 40 株黄连木中从果穗果量、果穗数、果柄长、含油率、千粒质量等方面进行数据对比，选择了 3 株经济效益较高的单株。以往研究虽然在优良种质筛选方面取得一定进展，但筛选指标较为单一、多样性程度低，亟需扩大调查范围并进行系统评价。

种质资源的多样性丰富程度是良种选育的先决条件和工作基础[12]。本研究在大范围种质资源调查的基础上，广泛收集黄连木天然实生资源，分析其果实表型性状的互作规律和相对差异，结合单株果量、冠幅单位面积产量等产量性状和健康果实率、含油率等品质性状，综合评价其经济性状，筛选出适合油用的优良品种，以期为选育黄连木生物质能源产业开发利用的优良品种奠定基础。结合黄连木荒山造林和低产林改造进行油用良种的推广，可为生物质能源提供充足原料，对解决我国能源危机问题、保护生态环境具有重要意义。

1　材料与方法

1.1　试验材料

本研究通过文献查阅、电话咨询、实地踏查等方法，结合课题组前期所做的调查工作，在北京、山东、河南、安徽、湖南、陕西、贵州 7 个地区展开种质资源调查，选择当地具有代表性的天然实生种质 88 株（信息见表 1），对单株进行产量性状测量后，将全株分为东南西北 4 个方向，每个方向用高枝剪随机采集 3 个果穗，果穗采集后置于−80 ℃ 冰箱保存备用，于 2021 年 9—11 月果实成熟期完成果实的采集工作。

1.2　试验方法

1.2.1　表型性状测定

单株调查指标包括经度、纬度、海拔，用 GPS 记录。树高采用目测估计，胸径采用胸径尺测量，冠幅根据地形采用卷尺和目测相结合的方法测量，果枝率、结果枝数目测估计。选取一枝结果枝，观察单枝果穗数、果穗果量[11,13−15]，重复 3 次。冠幅面积 = 南北冠幅 × 东西冠幅/4 × 3.14[14]，单株果量 = 结果枝数 ×

表 1 88 份黄连木种质基本情况

Tab. 1 Basic situation of 88 *Pistacia chinensis* germplasms

种源 Provenance	编号 Code	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (At)/m	树高 Tree height (TH)/m	冠幅面积 Crown width area (Cr)/m^2	胸径 DBH/cm	果枝率 Bearing branch rate (BBR)/%	结果枝数 Number of the bearing branch (NBB)	单枝果穗数 Number of the fruit cluster per branch (NFC)	果穗果量 Number of the fruit per fruit cluster (NPC)	单株果量 Number of the fruit per tree (NPT)	单株产量 Yield per tree (YPT)/kg	冠幅单位面积产量 Yield of the unit crown area (YCA)/($kg·m^{-2}$)
山东曲阜 Qufu, Shangdong (QF)	1 ~ 35	116°59′13″ ~ 116°59′17″	35°35′24″ ~ 35°36′04″	48 ~ 76	4.5 ~ 8.0	6.28 ~ 31.40	18.1 ~ 33.6	30 ~ 90	100 ~ 600	4 ~ 14	33 ~ 140	55 200 ~ 539 000	4.58 ~ 81.85	0.21 ~ 3.48
陕西商洛 Shangluo, Shaanxi (SL)	1 ~ 30	110°01′08″ ~ 110°06′10″	33°49′23″ ~ 33°53′04″	664 ~ 930	6.0 ~ 13.0	6.28 ~ 87.92	15.3 ~ 55.8	40 ~ 95	75 ~ 600	6 ~ 18	53 ~ 226	54 450 ~ 1 083 600	4.53 ~ 117.03	0.18 ~ 6.80
北京 Beijing (BJ)	1、6、9、11、13	116°10′45″ ~ 116°12′32″	39°57′23″ ~ 39°59′21″	68 ~ 99	5.8 ~ 10.0	4.71 ~ 28.26	18.2 ~ 42.3	10 ~ 75	60 ~ 350	4 ~ 8	41 ~ 81	9 840 ~ 170 100	0.84 ~ 12.93	0.17 ~ 0.69
黔东南自治州 Qiandongnan Autonomous Prefecture (QZ)	1 ~ 5	109°09′17″ ~ 108°30′24″	26°20′33″ ~ 26°44′59″	399 ~ 745	9.0 ~ 15.0	23.55 ~ 62.80	33.2 ~ 65.6	50 ~ 80	200 ~ 600	4 ~ 8	35 ~ 122	98 000 ~ 223 200	4.89 ~ 12.90	0.21 ~ 0.31
湖南永州 Yongzhou, Hunan (YZ)	1 ~ 5	111°35′08″ ~ 111°35′11″	25°08′14″ ~ 25°08′22″	233 ~ 274	3.0 ~ 11.0	6.28 ~ 62.80	23.2 ~ 40.7	30 ~ 60	100 ~ 250	4 ~ 8	20 ~ 65	18 000 ~ 65 000	0.80 ~ 4.19	0.02 ~ 0.19
安徽滁州 Chuzhou, Anhui (CZ)	1 ~ 5	118°12′38″ ~ 118°12′39″	32°37′34″ ~ 32°37′35″	105 ~ 112	7.0 ~ 9.0	9.42 ~ 14.13	15.2 ~ 28.6	20 ~ 40	100 ~ 200	4 ~ 6	48 ~ 98	19 200 ~ 117 600	1.54 ~ 3.41	0.14 ~ 0.54
河南鹤壁 Hebi, Henan (HB)	1 ~ 3	114°01′49″ ~ 114°01′53″	35°57′46″ ~ 35°57′50″	387 ~ 392	3.0 ~ 9.0	4.71 ~ 37.68	12.7 ~ 45.2	20 ~ 70	110 ~ 510	4 ~ 6	14 ~ 18	11 880 ~ 28 560	1.07 ~ 2.21	0.04 ~ 0.29

单枝果穗数 × 果穗果量，单株产量 = 单株果量 × 果实百粒质量/100，冠幅单位面积产量 = 单株产量/冠幅面积。

将单株各方向采集到的果穗的果实与穗分开后，随机选取 50 粒果实，观察健康果实(发育成熟、无病虫害)数量和非健康果实(败育或受到病虫害)[13]数量，计算健康果实率(健康果实数量/50 × 100%)。使用电子游标卡尺(0.01 mm)分别测量健康果实、非健康果实的横径(W)、纵径(L)、侧径(T)，以果穗在果实上的脱落痕迹点为基准，脱落痕迹点垂直朝上，果实横截面上的最大直径为横径，果实横截面上垂直于横径的直径为侧径，经过脱落痕迹点且垂直于果实横截面的直径为纵径。以上步骤重复 3 次。果实成熟期时，由于受到病虫害、极端天气、自身败育等原因，果实呈红色、黑色、浅绿色或者棕黄色，且数量占比较大，不可忽略，本文统称非健康果实。健康果实一般呈铜绿色、蓝绿色、深绿色，本文统称健康果实。

通过测量的果实 3 径指标，计算果实其他参数：长宽比(R_a) = W/L，果形指数(I_{NS}) = ($W + T$)/2L，伸长率(E) = L_{max}/L_{min}，算术平均直径(D_a) = ($W + L + T$)/3，几何平均直径(D_g) = $\sqrt[3]{WLT}$，球形度(φ) = D_g/L，表面积(S) = $\pi(D_g)^2$，体积(V) = $\pi WLT/6$。

1.2.2 果实含油率测定

将 88 份种质采集的果实分别放入 65 ℃ 烘箱中烘至质量恒定，再用球磨仪粉碎后，用分析天平称取样品质量(m_1，5 g 左右)，放入滤纸筒，记录抽提筒质量 m_2，每个抽提筒加入 80 mL 石油醚，使用 Soxtec 2050 索式提取系统抽提 6 h。完成后，抽提筒放入 105 ℃ 烘箱中烘至质量恒定(30 min 左右)，记录此时抽提筒质量 m_3。果实含油率 = ($m_3 - m_2$)/m_1。每份种质果实重复 3 次此步骤。

1.2.3 数据分析

采用 Excel2019 和 IBM SPSS Statistics 23 进行数据的处理分析，使用 Origin 2022b 进行图表的绘制。使用 Origin 2022b 先对列数据，包括健康果实率、含油率、单株产量、冠幅单位积产量等 24 项性状指标勾选标准化处理，再采用 Euclidean 距离类型 Ward 法对行数据种质进行聚类分析，采用 Euclidean 距离类型平均法对列数据性状进行聚类分析。用

IBM SPSS Statistics 23 进行主成分分析及打分，选择降维因子分析法，对 3 个主成分的特征值开方，得到的结果以下简称开方值，在成分矩阵表中用每个性状指标的成分值除以对应成分开方值，得到的结果作为系数建立方程表达式，将标准化值另存为变量，以各成分方差贡献率为系数得到总方程表达式，最后通过总方程表达式计算综合得分。排名靠前的种质性状指标平均值为 a_1，88 份种质性状指标平均值为 a_2，增益 $a = (a_1 - a_2)/a_2 \times 100\%$。

2　结果与分析

2.1　黄连木种质基本情况

表 1 表明：88 份种质分布广泛，分别源自于 7 个地区，海拔分布在 48 ~ 930 m。单株生长特性包括树高（3 ~ 15 m）、冠幅面积（4.71 ~ 87.92 m^2）、胸径（12 ~ 65 cm）。单株产量性状包括果枝率（10% ~ 95%）、结果枝数（60 ~ 600）、单枝果穗数（4 ~ 18）、果穗果量（14 ~ 226）、单株果量（9 840 ~ 1 083 600）、单株产量（0.80 ~ 117.03 kg）、冠幅单位面积产量（0.02 ~ 6.80 kg/m^2）。

2.2　黄连木果实性状变异分析

对 88 份实生黄连木种质资源果实性状指标进行统计分析（表 2）发现：果实百粒质量等 14 个性状的变异系数分布在 7.12% ~ 100.15% 之间，均值为 20.67%，表明各个种质果实性状之间变异显著。其中单株产量的变异系数最高，达到了 100.15%，这表明种质生长的环境对其产量的影响巨大，种质的产量具有极大的提升潜力。同样，健康果实率和含油

表 2　果实性状统计分析

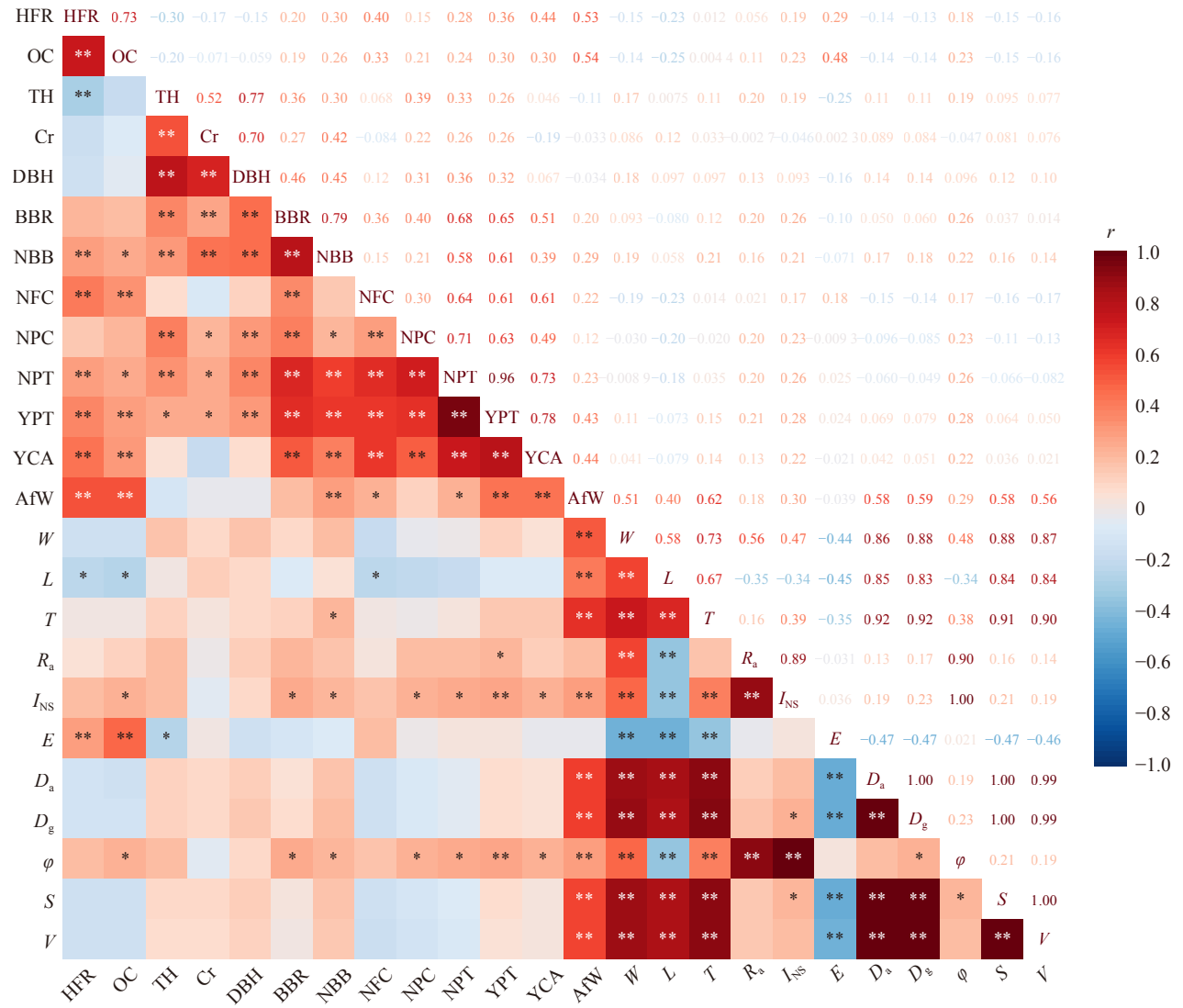
Tab. 2　Statistical analysis of fruit traits

性状 Trait	果实状态 State of the fruit	最小值 Min. value	最大值 Max. value	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation/%
横径 Width (W)/mm	全部果 All fruit	2.43	6.36	4.31	0.57	13.18
	健康 Healthy	2.43	6.36	4.44	0.56	12.57
	非健康 Unhealthy	2.56	6.34	4.22	0.56	13.29
纵径 Length (L)/mm	全部果 All fruit	3.43	7.74	5.40	0.62	11.54
	健康 Healthy	3.59	7.21	5.43	0.59	10.86
	非健康 Unhealthy	3.43	7.74	5.39	0.65	12.06
侧径 Thickness (T)/mm	全部果 All fruit	2.02	7.76	5.18	0.66	12.66
	健康 Healthy	3.45	7.25	5.30	0.57	10.84
	非健康 Unhealthy	2.02	7.76	5.10	0.70	13.76
长宽比 Aspect ratio (R_a)	全部果 All fruit	0.39	1.24	0.80	0.10	12.95
	健康 Healthy	0.43	1.24	0.82	0.11	13.21
	非健康 Unhealthy	0.39	1.12	0.79	0.10	12.35
果形指数 Fruit shape index (I_{NS})	全部果 All fruit	0.48	1.25	0.88	0.10	10.92
	健康 Healthy	0.50	1.25	0.90	0.09	10.46
	非健康 Unhealthy	0.48	1.20	0.87	0.10	10.93
算术平均直径 Arithmetic mean diameter (D_a)/mm	全部果 All fruit	3.24	6.70	4.97	0.51	10.25
	健康 Healthy	3.51	6.70	5.06	0.47	9.36
	非健康 Unhealthy	3.24	6.68	4.90	0.53	10.79
几何平均直径 Geometric mean diameter (D_g)/mm	全部果 All fruit	3.06	6.68	4.93	0.51	10.36
	健康 Healthy	3.42	6.68	5.03	0.48	9.47
	非健康 Unhealthy	3.06	6.67	4.87	0.53	10.87
球形度 Sphericity (φ)	全部果 All fruit	0.60	1.16	0.92	0.07	7.40
	健康 Healthy	0.63	1.16	0.93	0.07	7.12
	非健康 Unhealthy	0.60	1.13	0.91	0.07	7.39
表面积 Surface area (S)/mm^2	全部果 All fruit	29.39	140.32	77.17	16.09	20.86
	健康 Healthy	36.72	140.32	80.15	15.30	19.09
	非健康 Unhealthy	29.39	139.86	75.24	16.52	21.96
体积 Volume (V)/mm^3	全部果 All fruit	14.98	156.29	64.77	20.52	31.69
	健康 Healthy	20.92	156.29	68.38	19.81	28.97
	非健康 Unhealthy	14.98	155.54	62.46	20.92	33.49
果实百粒质量 100-fruit mass (AfW)/g	全部果 All fruit	3.18	16.87	8.95	2.48	27.72
	健康 Healthy	6.68	17.58	11.17	2.38	21.33
	非健康 Unhealthy	3.00	15.58	7.79	2.74	35.23
含油率 Oil content (OC)/%	健康 Healthy	2.62	53.80	23.07	12.70	55.03
健康果实率 Healthy fruit rate (HFR)/%	健康 Healthy	0.00	100.00	38.95	32.65	83.85
单株产量 Yield per tree (YPT)/kg	全部果 All fruit	0.80	117.03	22.62	22.66	100.15

率这 2 个性状的变异系数分别达到了极高的 83.85% 和 55.03%，表明适当的防治病虫害和成熟期培育措施对提升果实的健康度和产油能力具有重要意义。健康状态的果实的每一项性状指标平均值均要高于非健康状态的果实。除含油率、健康果实率、单株产量之外的 11 项性状指标中，健康状态的果实性状的变异系数均小于同一性状的非健康状态果实。其中，果实百粒质量这一性状的变异系数健康果比非健康果低 13.90%，体积和表面积的变异系数健康果比非健康果分别低 4.52% 和 2.87%，三径、长宽比、果形指数、算术平均直径、几何平均直径、球形度的变异系数健康果与非健康果的差值均小于 2%，表明健康果实的外观形态较非健康果更为稳定。且三径、长宽比、果形指数、算术平均直径、几何平均直径这 7 个性状在总的状态下变异系数相对较小，分布在 9% ~ 14% 之间，球形度的变异系数最小，为 7% ~ 8%。而表面积、体积、果实百粒质量的变异系数则分别分布在 19% ~ 22%、28% ~ 34%、27 ~ 36% 之间。

2.3 种质性状相关性分析

对种质的产量性状、果实性状等 24 项指标进行相关性分析发现(图 1)：含油率与健康果实率呈极显著正相关，表明单株健康果实的占比越大，果实的产油能力越高。健康果实率和含油率还与单枝果穗数、单株产量、全部果实百粒质量呈显著正相关，表明可以直接从单株的特定产量性状和果实的外观性状判断果实的健康度和产油能力。单株产量和冠幅单位面积产量均与果枝率、结果枝数、果穗数、单株



*代表 $P < 0.05$；**代表 $P < 0.01$；黑色星号代表相关系数 ≤ 0.51，白色星号代表相关系数 > 0.51。红色和蓝色色块分别代表正相关和负相关，颜色越深，相关系数值越大。* represents $P < 0.05$; ** represents $P < 0.01$. The black asterisk represents the correlation coefficient ≤ 0.51, and the white asterisk represents the correlation coefficient > 0.51. Red and blue of the squares represent positive and negative correlation, respectively. The darker the color is, the larger the correlation coefficient value is.

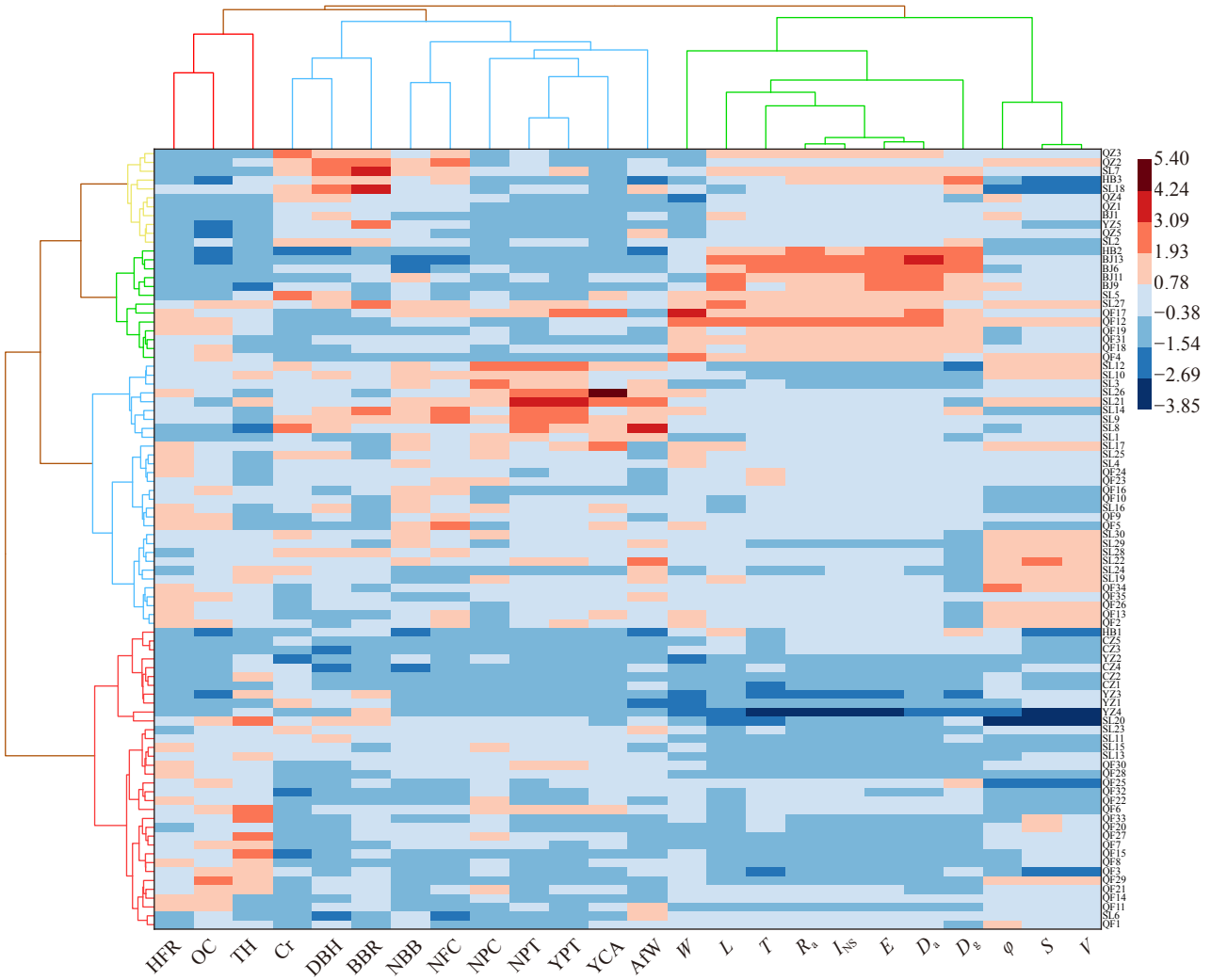
图 1 88 份黄连木种质性状的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of 88 *Pistacia chinensis* germplasms

果量呈极显著正相关。果实横径、纵径、侧径与算术平均直径、几何平均直径、表面积、体积呈极显著正相关，与伸长率呈极显著负相关。伸长率与算术平均直径、几何平均直径、表面积、体积呈极显著负相关。

2.4　种质性状聚类分析

聚类分析（图 2）表明，88 份种质被分为 4 个类群。第 1 类群包括了 11 份种质，分别为 QZ3、QZ2、SL7、HB3、SL18、QZ4、QZ1、BJ1、YZ5、QZ5、SL2，涵盖了贵州的全部种质，主要特征为林木单株本身高大，平均树高（（10.91 ± 1.81）m）、冠幅（（47.74 ± 21.86）m）、胸径（（46.64 ± 9.48）cm）较大，但是平均冠幅单位面积产量（（0.25 ± 0.12 ）kg/m^2）最低。第 2 类群包括了 13 份种质，分别为 HB2、BJ13、BJ6、BJ11、BJ9、SL5、SL27、QF17、QF12、QF19、QF31、QF18、QF4，属于大果型类群，主要特征为平均果实横径（（5.02 ± 0.39）mm）、平均果实纵径（（6.18 ± 0.38）mm）、平均果实侧径（（6.07 ± 0.33）mm）较大，平均果实百粒质量（（11.97 ± 2.68）g）、平均果实表面积（（103.25 ± 8.93）mm^2）、平均果实体积（（99.30 ± 12.78）mm^3）远远超过其他类群。第 3 类群包括了 SL12、QF23 等 30 份种质，均来源于陕西和山东，属于中果形类群，平均果实表面积（（76.35 ± 6.47）mm^2）、平均果实体积（（63.13 ± 7.91）mm^3）处于中游水平，但其平均健康果实率（（56.34 ± 26.64）%）和平均含油率（（27.74 ± 7.79）%）明显高于第 1 类群（（5.00 ± 10.22）%；（9.35 ± 7.83）%）、第 2 类群（（30.95 ± 31.92）%；（22.91 ± 15.11）%）、第 4 类群（（37.64 ± 33.15）%；（23.46 ± 13.69）%），平均单株产量（（39.08 ± 24.94）kg）和平均冠幅单位面积产量（（1.81 ± 1.27）kg/m^2）也远高于第 1 类群（（12.84 ± 11.88）kg；（0.25 ± 0.12）kg/m^2）、第 2 类群（（20.59 ± 24.56）kg；（1.03 ± 0.93）kg/m^2）、第 4 类群（（12.04 ± 12.22）kg；（0.69 ± 0.63）kg/m^2）。第 4 类群包括 HB1、CZ5、YZ2、CZ4、



方块颜色代表标准化后的值，颜色越红表示值越大，颜色越蓝表示值越小。The colour of the squares represents normalised value, the redder the color is, the larger the value is, and the bluer the color is, the smaller the value is.

图 2　88 份黄连木种质的聚类分析

Fig. 2　Cluster analysis of 88 *Pistacia chinensis* germplasms

SL20、QF30 等 34 份种质，属于小果型类群，平均果实横径（(3.93 ± 0.35) mm）、平均果实纵径（(5.17 ± 0.42) mm）、平均果实侧径（(4.74 ± 0.47) mm）、平均果实表面积（(66.21 ± 9.07) mm^2）、平均果实体积（(51.28 ± 10.23) mm^3）最小。总体来说，黄连木中果型类群为经济性状表现最佳类群，健康果实率、含油率、单株产量、冠幅单位面积产量都要远远高于其他类群。

同时，聚类分析将 24 项性状指标分为 3 类。第 1 类包括健康果实率、含油率、果实伸长率，代表果实的品质特征。第 2 类包括树高、胸径、冠幅面积、结果枝率、结果枝数、单枝果穗数、单株果量、单株产量、冠幅单位面积产量、果穗果量，代表单株产量特征。第 3 类包括果实横径、纵径、侧径、算术平均直径、几何平均直径、表面积、体积、长宽比、果形指数、球形度、果实百粒质量，代表果实外在表现特征。同一特征中的各项性状基本上呈显著相关，与相关性分析结果吻合，证明了分析方法的科学合理性。

2.5 种质经济性状的主成分分析

黄连木单株的 24 项测算指标均能够很好地反映其优良性状。本研究选取与黄连木种质经济性状关系最为紧密的 8 个性状展开主成分分析，采用 Bartlett 球形度检验 Sig 值为 0.000（< 0.05），适合主成分分析，以特征值 1.0 为标准提取了 3 个主成分，其累计方差贡献率达到了 92.27%，表明前 3 个主成分可表达影响种质经济性状的大部分信息（表 3）。其中，第 1 主成分的特征值（3.498）和方差贡献率（43.727%）最大，正向因子载荷较大的为果实几何平均直径（0.920）、果实表面积（0.915）、果实体积（0.906）、果实百粒质量（0.827），说明第 1 主成分主要反映了果实的大小与质量。第 2 主成份特征值为 2.811，方差贡献率为 35.134%，正向因子载荷较大的为健康果实率（0.824）、含油率（0.775）、单株产量（0.647）、冠幅单位面积产量（0.687），负向载荷因子有果实几何平均直径（−0.379）、果实表面积（−0.396）、果实体积（−0.410），第 2 主成分主要反映油脂产出效率与能力和种质产量，与果实大小呈负相关。第 3 主成分特征值为 1.073，方差贡献率为 13.410%，正向因子载荷较大的有含油率（0.502），负向因子载荷较大的有单株产量（−0.581）、冠幅单位面积产量（−0.546），说明第 3 主成分与产量性状呈负相关，主要反映了油脂产出能力。第 1、2、3 主成分主要反映果实的大小、质量和单株产量、油脂产出能力，符合以经济性状为主导的筛选原则。各成分表达式为

$$y_1 = 0.492x_1 + 0.489x_2 + 0.484x_3 + 0.442x_4 + 0.093x_5 + 0.082x_6 + 0.187x_7 + 0.196x_8;$$

$$y_2 = -0.226x_1 - 0.236x_2 - 0.245x_3 + 0.247x_4 + 0.492x_5 + 0.462x_6 + 0.410x_7 + 0.386x_8;$$

$$y_3 = 0.022x_1 + 0.026x_2 + 0.029x_3 + 0.223x_4 + 0.348x_5 + 0.485x_6 - 0.527x_7 - 0.560x_8;$$

式中：y_1, y_2, y_3 分别对应第 1 主成分值、第 2 主成分值、第 3 主成分值；x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8 分别对应 D_g、S、V、AfW、HFR、OC、YCA、YPT 的成分值。

综合得分（y）表达式为

$$y = 0.437\,3y_1 + 0.351\,3y_2 + 0.134\,1y_3$$

计算各种质的综合得分（表 4）得出：排名前 10 的优良单株全部来自于陕西和山东，属于第 2 类群和第 3 类群，其中第 2 类群包括 QF17、QF12、SL27、QF19、QF4，第 3 类群包括 SL26、SL17、QF5、SL14、QF2，且前 3 名均来自第 2 类群，说明大果型类群容易出现综合得分极为靠前的优良单株个体。中果型类群有 30 份单株，其中 26 株综合排名

表 3 种质经济性状的主成分分析

Tab. 3 Principal component analysis of economic traits of germplasm

性状 Trait	第1主成分 Principal component 1	第2主成分 Principal component 2	第3主成分 Principal component 3
D_g	0.920	−0.379	0.023
S	0.915	−0.396	0.027
V	0.906	−0.410	0.030
AfW	0.827	0.414	0.231
HFR	0.174	0.824	0.361
OC	0.153	0.775	0.502
YCA	0.349	0.687	−0.546
YPT	0.367	0.647	−0.581
特征值 Eigenvalue	3.498	2.811	1.073
方差贡献率 Variance contribution rate/%	43.727	35.134	13.410
累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	43.727	78.860	92.270

表 4　88 份黄连木种质综合得分排名

Tab. 4　Ranking of the comprehensive scores of 88 *Pistacia chinensis* germplasms

种质编号 Germplasm No.	主成分值 Principal component value			综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
	第1主成分 Principal component 1	第2主成分 Principal component 2	第3主成分 Principal component 3		
QF17	5.32	2.37	−0.99	3.03	1
QF12	4.41	0.15	1.58	2.19	2
SL27	3.47	1.14	0.50	1.99	3
SL26	1.81	4.10	−3.59	1.75	4
SL17	2.03	2.23	−0.83	1.56	5
QF19	2.33	0.73	1.31	1.45	6
QF5	1.29	2.00	0.37	1.32	7
QF4	1.99	0.21	1.77	1.18	8
SL14	1.89	1.35	−0.89	1.18	9
QF2	1.08	1.84	0.41	1.17	10
SL21	1.34	3.02	−3.88	1.13	11
QF6	0.91	2.35	−1.09	1.08	12
QF18	2.20	−0.17	0.66	0.99	13
QF31	2.59	−1.06	1.09	0.90	14
QF13	0.35	1.92	0.22	0.86	15
SL4	1.08	0.72	0.65	0.81	16
SL25	0.96	0.95	0.36	0.80	17
QF9	0.28	1.68	0.47	0.78	18
QF24	1.23	0.27	1.13	0.78	19
SL5	2.95	−1.27	−0.53	0.77	20
CZ3	−1.25	−1.85	−0.30	−1.24	79
CZ5	−1.21	−1.83	−0.61	−1.25	80
QZ4	−1.54	−2.15	−0.64	−1.51	81
CZ4	−2.32	−1.74	−0.49	−1.69	82
CZ1	−2.98	−1.01	−0.65	−1.74	83
CZ2	−2.72	−1.48	−0.62	−1.79	84
YZ1	−2.39	−2.02	−0.55	−1.83	85
YZ2	−2.96	−1.69	−0.66	−1.98	86
YZ3	−4.03	−1.52	−0.79	−2.40	87
YZ4	−5.64	−0.59	−0.71	−2.77	88

前 50，中果型类群所有单株中排名前 50 的占比高达 87%，因此，中果型类群易稳定产出综合得分较高的优良单株个体，利用中果型类群种质筛选优良单株更为高效。

表 5 表明：排名靠前的前 10 份种质与平均水平相比，健康果果实率（76.65%）、含油率（51.78%）、果实百粒质量（45.73%）、单株产量（106.63%）、冠幅单位面积产量（122.84%）增益明显，平均增益达到了 56.49%。这表明本研究筛选方法合理，优良单株经济性状指标提升效果显著。

3　讨　　论

3.1　黄连木单株经济性状多样性分析

果实性状分析和种质相关性分析是综合评价的重要部分，有利于制定方案对种质进行有目的的选育和改良。本研究对 88 份黄连木种质的果实性状统

表 5　10 份中国黄连木种质平均增益

Tab. 5　Average gain of 10 superior *Pistacia chinensis* germplasms

项目 Item	健康果实率 Healthy fruit rate	含油率 Oil content	单株产量 Yield per tree	冠幅单位面积产量 Yield of the unit crown area	果实百粒质量 100-fruit mass	几何平均直径 Geometric mean diameter	表面积 Surface area	体积 Volume
增益 Gain/%	76.65	51.78	106.63	122.84	45.73	7.96	16.06	24.27

计分析发现：性状表现具有丰富的多样性，产量性状和产油能力性状变异幅度极大，果实体积、表面积、百粒质量变异幅度相对较大，而果实外观指标变异幅度相对较小。健康果实各项经济性状指标平均值均大于非健康果实，变异幅度均小于非健康果实。非健康果实主要为遭受种子小蜂危害的虫果、遭受极端天气的坏果及不能正常发育的果实，虫果一般无种仁；坏果一般呈黑色干枯形态，剖开后种子及种仁也已干枯，不能利用；未发育完全果实一般呈绿色，种仁部分未发育，且果肉部分较坚硬，含油率低，不适合利用。所以非健康果实较正常果实外观更不稳定，整体大小更小，含油率更低，在生产中需积极防治种子小蜂等病虫害，合理施用水肥，以提高健康果比例。此外，单株产量与果枝率、结果枝数、单枝果穗数、果穗果量、单株果量呈极显著正相关，含油率与健康果实率、单枝果穗数、单株产量、冠幅单位面积产量、果实百粒质量也呈极显著正相关。因此，在实际生产中，提供适当培育措施提升结果枝数的同时，单枝果穗数、结果枝率与单株产量等重要经济油用性状也会提升；防治病虫害以提高健康果实率的同时，含油率、冠幅单位面积产量与果实百粒质量等重要经济油用性状也会提升。本研究结果对实际的育林选优效率提升与针对措施优化具有重要参考意义。

吴志庄等[16−17]和阮福娜[18]研究发现，黄连木表型性状存在丰富的群体间、群体内变异，且群体内相对群体间变异幅度更大，各性状间变异系数相差较大，差异显著。吴志庄等[19]研究发现：冠幅、果穗果量、结果枝率、健康果实率、果实百粒质量都与单株产量显著相关，各个影响因子协调作用，才能达到高产目的。本研究结果与前人的研究结果一致。

黄连木野生种质多为小群体散生，且资源分布较为分散，基因间交流较为困难，因此个体间差异较大。推测黄连木果实的数量和品质性状受复杂的生长环境影响较大，果实大小与质量受病虫害和恶劣天气影响较大。而果实外观形态较为稳定，健康果实各项性状较非健康果实更为稳定。产量受到环境因素的影响较大，病虫害防治及适当培育措施对提升产油能力具有重要意义，果实性状可能受外在环境、自身长势等各因素综合影响，具体是哪些环境因素对产量造成了极大影响以及何种病虫害防治及培育措施效果最佳，这些问题有待进一步的研究。单从单枝果穗数和结果枝数这几个易观察的性状，可判断单株产量；从单枝果穗数这一易观察的性状，可判断果实含油率，在实际生产中对黄连木单株经济性状的直接判断具有重要意义。

3.2 黄连木优良单株综合筛选

本研究通过对 24 项指标的聚类分析将来自 7 个省份的 88 份黄连木种质分为 4 类：第 1 类为林木高大粗壮、冠幅单位面积产量最低型类群，多为树龄较大、已过结果盛期的古树；第 2 类为大果型类群；第 3 类为中果型类群；第 4 类为小果型类群。黄连木适生性强，非人为破坏的情况下，能够长久生存，各地古树名木名单中，黄连木经常榜上有名，属于第 1 类群的黄连木历史文化价值极高。排名靠前、属于大果型类群的单株果实含油率均高于中果型类群，若能解决影响果实含油率的病虫害等问题，大果型类群利用前景将更为广阔。目前，中果型类群是各项经济油用指标最为均衡的类群，是生产培育的目标类群。而中果型类群更适合作为培育目标的原因，猜测为树体在生长发育中的营养平衡策略，适当营养分配到果实，生长到中等大小后，其他营养能够支持树体产出更多数量的果实，即提高产量；并且保证果实能够健康发育，提高含油率。而果实大小与单株本身的经济油用价值是否存在平衡策略有待进一步的验证。

研究筛选出的前 10 份优良种质，冠幅单位面积产量均在 0.65 kg/m^2 以上，健康果实率均在 50.67% 以上，含油率均在 26.47% 以上，果实百粒质量均在 11.04 g 以上，果枝率均在 30% 以上，结果枝数均在 200 枝以上，单枝果穗数均在 4 个以上。实际生产中的优株可将以上各项条件作为参考值。通过主成分分析计算综合得分，对 88 份黄连木种质筛选得到排名靠前的前 10 份种质，前 10 份种质的各方面性状增益明显，说明筛选出的前 10 份种质可以作为良种选育的材料。

3.3 黄连木综合评价体系的完善

吴志庄[20]通过聚类分析将黄连木 9 个群体分为低变异中等含油率群体、低变异低含油率群体、高变异高含油率群体 3 类，但其研究存在地理跨度小、评价指标单一等问题。诸多树种优良单株的选育和果实的综合评价工作都会用到主成分分析，为黄连木优良单株的筛选提供了重要的参考意义[21−24]。本文选择地理跨度大的分布区，并利用 24 项评价指标的方法，可为今后黄连木优良单株筛选工作提供参考。但本研究未涉及黄连木油脂肪酸组分、含量及理化性质等指标，其与油用经济性状相关性的分析，有待进一步的研究。

中果型类群果实品质性状、出油能力、产量性状均要远高于其他 3 个类群，此类群培育优良品种的潜力巨大，且此类群种质全部来源于陕西和山东，有效提供了选育优良单株的地理分布范围。聚类分析

将性状指标分为果实品质特征、果实外在特征、单株产量特征 3 类，与相关性分析的结果相吻合。筛选的 10 份种质均来源于山东和陕西，与聚类分析的结果相吻合，证明本研究所用的评价筛选方法合理有效。本研究评价指标多样，评价结果具有科学性与说服力，引入了冠幅单位面积产量、结果枝数、单枝果穗数等指标，弱化含油率、果实百粒质量等稳定指标的影响，对黄连木的种质评价体系的完善具有重要意义。

4 结　　论

黄连木种质果实性状变异幅度大，性状表现丰富，可供选育的空间广阔。黄连木果实外观形态相对稳定，健康果实各性状比非健康果实更为稳定。种质各性状存在不同程度的相关性，单枝果穗数与果实含油率、单株产量分别呈极显著正相关，实际生产中，可研究适当培育措施以提高单枝果穗数，进而同步提高果实含油率与单株产量，对提升黄连木作为能源树种的油用价值具有重要意义。划分的 4 种类群中，大果型类群容易出现综合得分极为靠前的优良单株个体，中果型类群则易稳定产出综合得分较高的优良单株个体。目前综合各经济油用效益来说，主要以中果型类型作为主要培育方向，若能解决影响果实含油率的病虫害等问题，大果型类群可能更具培育潜力。针对经济性状筛选的 10 份种质增益明显，分布于陕西、山东区域，而中果型类群也全部来自于陕西、山东两地，2 种分析方法结论吻合。因此，相较于北京、河南、贵州、湖南、安徽等地的种质，陕西、山东地区的黄连木更具备适合其发挥经济油用效益的环境条件。本研究筛选的 10 株优良单株可作为良种选育的优异研究材料。

参 考 文 献

[1] Dey S, Reang N M, Das P K, et al. A comprehensive study on prospects of economy, environment, andefficiency of palm oil biodiesel as a renewable fuel[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 286: 124981.

[2] Mulyatun M, Prameswari J, Istadi I, et al. Production of non-food feedstock based biodiesel using acid-base bifunctional heterogeneous catalysts: a review[J]. Fuel, 2022, 314: 122749.

[3] 符瑜, 潘学标, 高浩. 中国黄连木的地理分布与生境气候特征分析 [J]. 中国农业气象, 2009, 30(3): 318−322.
Fu Y, Pan X B, Gao H. Geographical distribution and climate characteristics of habital of *Pistacia chinensis* Bunge in China[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(3): 318−322.

[4] 李广会. 黄连木的种质资源与开发利用 [J]. 天津农业科学, 2009, 15(6): 68−70.
Li G H. Genetic resources and development of *Pistacia chinensis* Bunge[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2009, 15(6): 68−70.

[5] 牛正田, 李涛, 菅根柱, 等. 黄连木资源概况、栽培技术及综合利用前景 [J]. 经济林研究, 2005, 23(3): 72−75.
Niu Z T, Li T, Jian G Z, et al. Resource survey, cultivation techniques and multipurpose utilization of *Pistacia chinensis* Bunge[J]. Nonwood Forest Research, 2005, 23(3): 72−75.

[6] 秦飞, 郭同斌, 刘忠刚, 等. 中国黄连木研究综述 [J]. 经济林研究, 2007, 25(4): 90−96.
Qin F, Guo T B, Liu Z G, et al. Literature review of researches on *Pistacia chinensis* Bunge[J]. Nonwood Forest Research, 2007, 25(4): 90−96.

[7] 马蓁, 朱玮, 尉芹. 木本油料生产生物柴油研究 [J]. 西北林学院学报, 2007, 22(6): 125−130.
Ma Z, Zhu W, Wei Q. Advances in the researches of biodiesel from woody oil-bearing plants[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(6): 125−130.

[8] 王涛. 中国主要生物质燃料油木本能源植物资源概况与展望 [J]. 科技导报, 2005, 23(5): 12−14.
Wang T. A survey of the woody plant resources for biomass fuel oil in China[J]. Science & Technology Review, 2005, 23(5): 12−14.

[9] 白倩. 中国黄连木性别表现分子机制的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
Bai Q. Sthdy on molecular mechanism of sex expression of *Pistacia chinensis* Bunge[D]. Beijing: Beijing Foresty University, 2019.

[10] 吴志庄. 木本能源植物黄连木单株选择、类型划分与群落调查研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2008.
Wu Z Z. Study on individual selection, type classification and community investigation of woody energy plant *Pistacia chinensis* Bunge[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry Sciences, 2008.

[11] 刘新, 梁博, 徐昌建, 等. 滕州市黄连木优良单株选择 [J]. 山东林业科技, 2007(3): 30−31.
Liu X, Liang B, Xu C J, et al. Superior individual selection of *Pistacia chinensis* in Tengzhou[J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2007(3): 30−31.

[12] 曾列先, 陈深, 杨健源, 等. 国际水稻白叶枯病圃种质资源在华南的抗性评价和利用 [J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(5): 930−935.
Zeng L X, Chen S, Yang J Y, et al. The resistance evaluation and their utilization of the germplasm resources from international rice bacterial blight nursery (IRBBN) in south China[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(5): 930−935.

[13] 齐国辉, 李保国, 郭素萍, 等. 黄连木优株果实品质及结实特性研究 [J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2): 70−74.
Qi G H, Li B G, Guo S P, et al. Fruit quality and fruiting characteristics of superior strains of *Pistacia chinensis*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 70−74.

[14] 王立宪, 刘济铭, 徐圆圆, 等. 无患子果实经济性状与环境因子的相关性 [J]. 生态学杂志, 2021, 40(2): 373−380.
Wang L X, Liu J M, Xu Y Y, et al. The correlation between economic traits of soapberry fruit and environmental factors[J].

Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(2): 373−380.

［15］吴志庄, 尚忠海, 鲜宏利, 等. 黄连木优良类型综合评价指标体系的构建 [J]. 经济林研究, 2008, 26(4): 22−25.
Wu Z Z, Shang Z H, Xian H L, et al. Establishment of comprehensive evaluation index system of fine types in *Pistacia chinensis* Bunge[J]. Nonwood Forest Research, 2008, 26(4): 22−25.

［16］吴志庄, 厉月桥, 汪泽军, 等. 黄连木天然群体表型变异与多样性研究 [J]. 林业资源管理, 2011(4): 53−58.
Wu Z Z, Li Y Q, Wang Z J, et al. Study on the phenotype diversity of woody energy plant *Pistacia chinensis* Bunge[J]. Forest Resources Management, 2011(4): 53−58.

［17］吴志庄, 王学勇, 汪泽军. 黄连木优树子代苗期测定与初步选择 [J]. 福建林学院学报, 2008, 28(3): 348−352.
Wu Z Z, Wang X Y, Wang Z J. Preliminary selection and seeding testing of plus trees progeny of *Pisticia chinensis*[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2008, 28(3): 348−352.

［18］阮福娜. 不同性别类型黄连木的亲缘关系研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
Ruan F N. Study on the genetic relationships between different gender types of *Pistacia chinensis* Bunge[D]. Beijing: Beijing Foresty University, 2019.

［19］吴志庄, 厉月桥, 汪泽军, 等. 影响黄连木单株产量的因素分析 [J]. 经济林研究, 2012, 30(1): 23−27.
Wu Z Z, Li Y Q, Wang Z J, et al. Analysis on influence factors of individual yield in *Pistacia chinensis* Bunge[J]. Nonwood Forest Research, 2012, 30(1): 23−27.

［20］吴志庄, 鲜宏利, 尚忠海, 等. 黄连木天然群体果实含油率的地理变异 [J]. 林业科学, 2009, 45(5): 69−73.
Wu Z Z, Xian H L, Shang Z H, et al. Analysis on geographical variation of fruit oil content of *Pistacia chinensis*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(5): 69−73.

［21］Liu D, Wang X, Li W, et al. Genetic diversity analysis of the phenotypic traits of 215 sugar beet germplasm resources[J]. Sugar Tech, 2022, 24(6): 1790−1800.

［22］Yuan L, Yun Y, Gao Z, et al. Transcription profile analysis for biosynthesis of flavor volatiles of Tunisian soft-seed pomegranate arils[J]. Food Research International, 2022, 156: 111304.

［23］赵娣. 我国东北野生榛子种质资源调查及选优 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
Zhao D. The research of germplasm resources and superior individual selection of wild hazelnut in north east China[D]. Beijing: Beijing Foresty University, 2013.

［24］赵爽, 寇艳茹, 王忠, 等. 我国铁岭地区平榛优良单株选育 [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(6): 15−21.
Zhao S, Kou Y R, Wang Z, et al. superior individual selection of *Corylus heterophylla* for nut production in Tieling, China[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2015, 43(6): 15−21.

（责任编辑 范 娟 赵田芸
责任编委 马履一）