第 32 卷 第 5 期 北 京 林 业 大 学 学 报 Vol. 32, No. 5
2010 年 9 月 JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY Sep., 2010

腾冲红花油茶自然和人工种群种实性状变异研究

黄佳聪[1] 何 俊[2] 尹瑞萍[1] 万晓军[1] 郭 军[3] 辛成莲[4] 龚发萍[1] 李 悦[5]

(1 云南省保山市林业技术推广总站 2 中国科学院昆明植物研究所 3 云南省隆阳区林业局林木种苗管理站
4 云南省腾冲县林业局林业技术推广站 5 北京林业大学林木育种国家工程实验室,树木花卉遗传育种教育部重点实验室,
国家林业局树木花卉育种与生物工程重点开放实验室)

摘要:为了选择改良腾冲红花油茶的种实经济性状,对面积较大的 3 个天然种群和 6 个人工种群样株的 12 个种实性状和指标的变异进行了分析。结果显示:除果径在起源间无显著差异外,其余性状在起源间、起源内种群间及种群内单株间的变异均达到极显著水平,其方差分量为单株间 > 起源内种源间 > 起源间,不同性状相对变异程度有所不同。果实性状中果型与种子性状、产量性状呈显著或极显著负相关,其他性状与种子性状、产量性状呈显著或极显著正相关;种子性状与产量性状呈极显著正相关;果型、单果籽质量、出籽率、仁油率、籽油率及果油量是主要的遗传变异性状;果型、海拔与单位面积产油量呈显著负相关。提出了腾冲红花油茶群体和优株选择的主要指标和策略,为其可持续改良提供了科学依据。

关键词: 腾冲红花油茶;果实性状;种子性状;含油量;种群;变异

中图分类号: S718.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2010)05-0094-08

HUANG Jia-cong[1]; HE Jun[2]; YIN Rui-ping[1]; WAN Xiao-jun[1]; GUO Jun[3]; XIN Cheng-lian[4]; GONG Fa-ping[1]; LI Yue[5]. **Variations of fruit and seed traits of natural and artificial populations in *Camellia reticulata* L.** *Journal of Beijing Forestry University* (2010) **32**(5)94-101 [Ch, 15 ref.]

1 Forestry Technique Promotion Station of Baoshan City, Yunnan, 678000, P. R. China;
2 Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 650204, P. R. China;
3 Forestry Technique Promotion Centre of Longyang District, Baoshan, Yunnan, 678000, P. R. China;
4 Forestry Technique Promotion Station of Tengchong County, Yunnan, 679100, P. R. China;
5 National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, Tree and Ornamental Plant Breeding and Biotechnology Laboratory of State Forestry Administration, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

For the purpose of improving the fruit and seed traits by selection, 12 fruit and seed traits of sample trees from 3 natural stands and 6 artificial plantations with large size in *Camellia reticulata* L. were analyzed. The results showed that there were significant variations among genesis, seed sources and individual trees for all traits, except for diameters of fruit. The general rankings in percentage of variance component for different resources were individual, seed resource and genesis. The correlative coefficients between length against width of fruit and other seed traits, as well as oil content indices were negative significant. The correlative coefficients between seed traits and oil content indices were positive significant. The traits as length against width of fruit, seed weight per fruit, kernel ratio per seed, oil content per seed and oil content per fruit were with much higher variations for each resource and higher values for improvement by selection. There were significant negative correlations between length against

收稿日期:2010-03-24

基金项目:国家跨区域重点推广示范项目(2009TK32)、中国科学院昆明植物研究所山地生态系统研究中心(CMES)项目(KMG-BFD-008)。

第一作者:黄佳聪,高级工程师。主要研究方向:经济林栽培研究与推广。电话:13987503160 Email:bs_hjc@126.com 地址:678000 云南省保山市林业技术推广总站。

责任作者: 李悦,教授。主要研究方向:针叶树遗传改良。电话:010-62336064 Email:liyue@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学 118 信箱。

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

width of fruit, elevation and oil content of fruit. The traits and strategy for selection in *C. reticulata* were suggested. Selection of populations and elite trees with higher value in tea-oil production potential should be much benefit for further development of tea-oil industry of *C. reticulata* in China.

Key words　*Camellia reticulata* L.; fruit trait; seed trait; oil content; population; variation

油茶是耐瘠薄、油质优异的木本油料植物，在适生区生态经济林建设中有重要地位，是 21 世纪中国食用油发展的重要战略性原料[1]。腾冲红花油茶（*Camellia reticulata* L.）为中型乔木，树高可达 14 ~ 17 m，可产优质食用油[2]，是发展木本油料的重要树种。为此，保山市制定了 13.33 万 hm^2 腾冲红花油茶产业化基地建设规划。腾冲红花油茶的天然分布仅限滇西海拔 1 600 ~ 2 600 m 的温凉湿润地区[3]，为局限性生态幅物种[4]，目前自然生长与栽植面积近 20 000 hm^2。研究其种实性状与主要经济指标变异，探索其特点与规律，对选择优良种质、培育良种、扩大栽植范围、促进腾冲红花油茶产业的原料基地建设和产业发展具有积极的理论和实际意义。

树木的遗传变异是对其改良与利用的种质基础，研究树种群体与个体间经济性状的遗传变异，选择优良种质，是树种遗传改良的核心工作。对腾冲红花油茶的生物学特性、资源分布、油品指标检测和木材特性分析等已有研究报道[5-6]，在遗传育种领域开展了花朵观赏性状变异与观赏型品种的选育工作[5,7-8]，尚未有对该种油用相关经济性状遗传变异的研究报道。对浙江红花油茶果实性状变异开展过研究[9-10]。本研究的主要目的是：在对腾冲红花油茶分布区内主要自然和人工种群抽样调查分析的基础上，揭示其种群间及种群内不同种实性状与经济指标的遗传变异状况及规律，认识各性状间变异的相关关系，探索对种群变异影响的主要生境因子，提出腾冲红花油茶优良种质选育和产业原料基地建设的建议，以期为深入认识油茶经济性状变异规律提供参考，为腾冲红花油茶的可持续遗传改良奠定理论与技术基础。

1　材料与方法

1.1　种群及基本生境因子

调查种群的地理分布、起源（天然或人工）、立地类型和主要林分因子，具体情况详见表 1。选取种群的面积原则上不低于 10 hm^2，种群间的直线距离大于 20 km。9 个种群中，腾冲沙坝林场、高黎贡山、昌宁漭水和凤庆小湾 4 个种群的海拔在 2 200 m 以上，其余 5 个种群海拔在 2 200 m 以下；种群中有天然与近天然起源种群 3 个，树龄均在 100 年以上，其余 6 个人工林种群树龄在 40 ~ 50 年之间。人工培育种群的种源均来自腾冲马站。腾冲西山坝、腾冲沙坝林场和高黎贡山种群为纯林，每公顷植株数约 750 ~ 1 050，其余 6 个种群为混交林，每公顷腾冲红花油茶植株数约 150 ~ 375。腾冲马站、腾冲西山坝、腾冲沙坝林场 3 个种群林分为粗放经营管理，其余 6 个种群林分无人为经营干预。3 个天然种群与高黎贡山种群的植株个体相对较大；各林分立地的坡度较平缓，多在 15°以下。

表 1　腾冲红花油茶调查种群的地理位置与基本情况

Tab. 1　Location and general stand information of sample populations in *C. reticulata*

编号	种群	海拔/m	东经	北纬	立地及林分情况	样株数	起源
P1	腾冲马站	1 940 ~ 2 100	98°30′18″	25°09′13″	火山灰壤，坡度 10°，全坡向，散生及混交散生，300 株/hm^2，树龄 > 100 年，树高 12 m，干基直径 22.1 cm，冠幅 92.4 m^2	45	天然
P2	腾冲西山坝	1 680 ~ 1 750	98°28′50″	25°03′28″	沙壤，坡度 15°，全坡向，纯林，900 株/hm^2，管理粗放，树龄 50 年，树高 6 m，干基直径 7.8 cm，冠幅 11 m^2	60	人工
P3	腾冲沙坝	2 200 ~ 2 280	98°35′36″	24°56′29″	沙壤，坡度 15°，东坡，纯林，750 株/hm^2，树龄 40 年，树高 5.5 m，干基直径 12.8 cm，冠幅 11 m^2	30	人工
P4	高黎贡山	2 250 ~ 2 300	98°45′33″	24°55′40″	沙壤，坡度 10°，东南坡，纯林，1 050 株/hm^2，管理粗放，树龄 40 年，树高 13 m，干基直径 14.0 cm，冠幅 10 m^2	22	人工
P5	隆阳杨柳	1 940 ~ 2 000	98°59′30″	25°09′36″	红壤，坡度 5°，西南坡，与茶林混生，225 株/hm^2，管理粗放，树龄 40 年，树高 5 m，干基直径 6.4 cm，冠幅 16 m^2	21	人工
P6	隆阳西邑	2 180 ~ 2 200	99°16′48″	24°50′31″	红壤，坡度 5°，东坡，与云南松混生，375 株/hm^2，树龄 40 年，树高 6 m，干基直径 7.5 cm，冠幅 12 m^2	49	人工
P7	隆阳瓦窑	1 850 ~ 1 900	99°10′49″	24°20′09″	红壤，坡度 15°，北坡，散生，180 株/hm^2，管理粗放，树龄 40 年，树高 5 m，干基直径 5.3 cm，冠幅 15 m^2	23	人工
P8	昌宁漭水	2 360 ~ 2 650	99°39′53″	24°58′55″	沙壤，坡度 1°，全坡向，与华山松混生，150 株/hm^2，树龄 100 年以上，树高 9 m，干基直径 18.2 cm，冠幅 25 m^2	27	天然
P9	凤庆小湾	2 380 ~ 2 430	100°07′27″	24°34′19″	沙壤，坡度 15°，全坡向，与汉冬瓜混生，180 株/hm^2，树龄 100 年以上，树高 9 m，干基直径 17.9 cm，冠幅 40 m^2	14	天然

1.2 样株及果实样本

1.2.1 样 株

各种群的样株随机抽样确定，为减少近亲繁殖效应，样株间距大于 40 m。同时，为兼顾考察种群的种实生产潜力和提供进一步选择的有效单株信息，样株要求生长正常，结实量较多（平方米树冠投影鲜果产量≥1 kg）。

各种群样株数量根据种群相对大小而不同，抽样率在 0.05% 左右，原则上每种群样株不少于 20。

1.2.2 果实样本

于 2009 年秋腾冲红花油茶种实成熟期，在各种群内分样株采收果实。每样株随机采集成熟果实 30 个以上，按样株装袋，做好标记，供室内分析。

1.3 主要性状指标的测定与计算

主要性状指标分为 3 类：果实性状指标有果高（mm）、果径（mm）、果型（果高/果径）、果质量（g）；种子性状指标有单果籽数、单果籽质量（g）、单籽质量（g）；产量指标有出籽率（%）、出仁率（%）、仁油率（%）、籽油率（%）和果油量（g）。

果实性状测定：果实采集后 24 h 内，用电子数显游标卡尺逐果测量果高及果径（精度 0.01 mm）；用电子天平逐果称取鲜果质量（精度 0.1 g）。

种子性状测定：分单株将称质量后的鲜果置于干燥通风处后熟 7 ~ 10 d，剥出籽粒风干，计数并称取质量（精度 0.1 g）。单果籽数和单果籽质量分别为各单株每果的籽数和籽质量的平均值，单籽质量为每株风干籽平均单籽质量。

产量指标：出籽率为风干籽质量与鲜果质量的比值。出仁率为风干种子去种皮后仁质量与籽质量的比值。出油率测定为：取约 12 g 种仁于研钵内研磨致粉末状，用十万分之一分析天平称取 10 g，采用溶剂回流提取法[11]获得出油量。

出仁率 = 仁质量/籽质量 ×100%；

仁油率 = 出油量/仁质量 ×100%；

籽油率 = 仁质量/籽质量 ×仁油率；

果油量 = 单果籽质量 ×籽油率。

1.4 统计分析方法

3 类指标独立分析。

各果实性状指标以每果实测量值为统计值，用固定模型做多因素巢式方差分析。线性模型为：

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + S_{j(i)} + I_{k(j)} + e_{ijkl}$$

式中：Y_{ijkl} 为第 i 种起源、第 j 个种源中第 k 个个体的第 l 个果实的观测值；μ 为试验均值；G_i 为第 i 个起源效应值；$S_{j(i)}$ 为第 i 种起源内的第 j 个种源的效应值；$I_{k(j)}$ 为第 j 个种源内第 k 个体的效应值；e_{ijkl} 为剩余项，主要为个体内效应值。

各种子性状和产量指标以单株平均值为统计值，百分数做反正弦转换，方差分析线性模型为：

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + S_{j(i)} + e_{ijk}$$

式中：Y_{ijk} 为第 i 种起源、第 j 个种源中第 k 个个体的观测值；e_{ijk} 为剩余项，包括个体间遗传变异和个体与环境的互作效应。

方差分量的剖分按 Backer[12] 方法。性状指标间的相关分析以单株观测值为统计值。地理位置、林分生长与种实性状和产量指标的相关分析以种源平均值为统计值。统计及聚类分析借助了 SAS9.2 软件和 SPSS13.0 软件。

2 结果与分析

2.1 各性状指标在天然与人工起源林分间的变异

表 2 是对腾冲红花油茶 3 个自然和 6 个人工种群种实性状和含油指标的方差与分量分析结果。表 2 中显示：果实性状指标中，除果径天然与人工起源林分间无显著差异外，其余指标在起源间均有极显著差异。其中果型的起源间方差分量值最大，达到 8.54%，是主要的起源间果实变异性状。天然林的果型相对较长，果质量高于人工林（表 3）。3 个种子性状在起源间差异相对较小，其中单果籽质量达到显著水平，单果籽数和单籽质量在起源间有一定差异（可靠性 > 0.10）。人工林的各项种子指标均高于天然林（表 3）。5 个产量指标在起源间均有显著差异，人工林的各项产量指标均显著超过天然林，其中仁油率和籽油率在起源间的分量均达到 20% 以上，是主要的起源间差异产量指标。

2.2 各性状指标在起源内种源间的变异

所有 4 个果实性状指标在起源内种源间均有极显著差异，其中果高和果质量在起源内种源间的方差分量分别占 19.38% 和 11.37%，是起源内种源间变异的重要果实指标（表 2）。

种子性状在起源内种源间的变异均达到极显著水平。其中单果籽质量在种源间方差分量达到了 24.05% 的较高水平，是种源间差异的主要种子性状，它表示了单果的产籽能力，是植株茶油产量的重要基础性状指标。

5 个产量指标在起源内种源间均有极显著差异。各产量指标的种源间方差分量值变化在 18.32% ~ 42.75%，出籽率的种源间方差分量值最大。在 3 个茶油产量指标中果油量的方差分量值最大，达到 27.14%（表 2），它的种源间变异系数值在 5 个产量指标中也最高，达到 30.35%（表 3），在种源间的极差比达到 2.99（表 4），是对种源产量选择的重要指标。

表 2　腾冲红花油茶 3 个自然和 6 个人工种群种实性状和含油指标的方差与分量分析

Tab. 2　Variance analysis and variance component estimation of fruit and seed traits and oil content between 3 natural stands and 6 plantations in *C. reticulata*

变异来源	DF	果高		果径		果型		果质量	
		均方	分量/%	均方	分量/%	均方	分量/%	均方	分量/%
起源	1	12 382 **	2.97	5.673	1.79	3.701 0 **	8.54	3 788 **	0.07
种源/起源	7	7 080 **	19.38	4 253 **	5.54	0.500 4 **	3.49	78 420 **	11.73
个体/种源	286	466.6 **	41.30	598.9 **	25.28	0.180 7 **	61.82	7 442 **	36.21
剩余	5 523	19.96	36.35	71.4	67.39	0.003 8	26.16	506	52.06

变异来源	DF	单果籽数		单果籽质量		单籽质量		出籽率	
		均方	分量/%	均方	分量/%	均方	分量/%	均方	分量/%
起源	1	14.18#	0.44	43.11*	5.28	0.364 9#	3.84	188.6 **	8.64
种源/起源	7	18.07 **	7.21	103.13 **	24.05	0.766 4 **	14.91	245.5 **	42.75
剩余	282	5.31	92.35	8.96	70.66	0.114 4	81.25	8.7	48.61

变异来源	DF	出仁率		仁油率		籽油率		果油量	
		均方	分量/%	均方	分量/%	均方	分量/%	均方	分量/%
起源	1	172.9 **	1.14	2 315*	30.50	1 274 **	22.59	25.20 **	3.64
种源/起源	7	257.1 **	26.46	375.8 **	18.72	275.0 **	18.32	18.32 **	27.14
剩余	282	21.0	72.40	30.4	50.78	26.0	59.09	1.40	69.22

注：**可靠性 >0.01，* 可靠性 >0.05，#可靠性 >0.10。

表 3　腾冲红花油茶 9 个种群的种实性状和含油指标的统计量

Tab. 3　Statistics of fruit and seed traits and oil content between 9 populations in *C. reticulata*

性状	起源		种源		
	人工林	天然林	平均值	标准差	变异系数/%
果高/mm	48.0	48.9	46.20	4.37	9.46
果径/mm	55.8	55.7	55.80	2.49	4.46
果型	0.86	0.88	0.83	0.05	6.02
果质量/g	75.3	77.0	77.10	11.30	14.66
单果籽数	8.2	7.7	7.88	0.84	10.66
单果籽质量/g	9.89	9.20	9.10	2.00	22.09
单籽质量/g	1.26	1.20	1.18	0.17	14.41
出籽率/%	13.5	12.2	12.1	3.15	26.03
出仁率/%	64.6	62.6	63.1	2.96	4.69
仁油率/%	51.0	44.4	48.0	4.83	10.06
籽油率/%	33.0	28.0	30.4	3.92	12.89
果油量/g	3.34	2.64	2.85	0.87	30.35

2.3　各性状指标在个体间的变异

果实性状指标在种源内个体间均有极显著差异（表 2）。方差分量值普遍较高，其中果型变异方差分量值最高（61.82%），是种源林分内个体间遗传变异的主要性状。果质量和果高在个体间变异的方差分量也分别达到 36.21% 和 41.30%，显示了其在种源内个体间的较高遗传变异。从全部种群个体间的果实性状变异来看（表 5），果质量的变异系数最高（27.84%），极差比达到 4.86，是个体间果实性状变异的重要指标。

3 个种子性状在 291 个个体间的变异系数值均在 30% 左右（表 5），极差比变化在 6.69 ~ 8.52，是个体间相对变异较大的种实指标。

在 3 个茶油产量指标中，果油量的变异系数最大（44.02%），其极差比达 14.90。果油量是籽油率和单果籽质量的函数，集中反映了单果的产茶油能力，因此是重要的单株经济性状变异指标。

表 4　腾冲红花油茶种源的种实性状和含油指标的多重比较

Tab. 4　Duncan's multiple range test for fruit traits, seed traits, oil content by seed source in *C. reticulata*

种群	果高/mm	果径/mm	果质量/g	果型	单果籽数	单果籽质量/g	单籽质量/g	出籽率/%	出仁率/%	仁油率/%	籽油率/%	果油量/g
P1	44.0C	54.6BC	67.3CD	0.81C	7.61AB	9.50AB	1.26A	13.8BC	63.3BC	46.2CD	29.4CD	2.86CD
P2	45.1C	55.9AB	72.5BC	0.82C	8.70A	11.20A	1.37A	15.8A	67.6A	51.8AB	35.1A	3.95A
P3	48.9B	58.6A	90.7A	0.84BC	9.02A	10.70AB	1.23A	12.1C	65.8AB	47.4CD	31.4BC	3.42AB
P4	45.4C	58.4A	86.4A	0.78C	7.68AB	7.01D	0.94B	8.2D	58.0D	44.5DE	25.9EF	1.82EF
P5	42.8C	54.2C	70.1C	0.79C	8.18A	9.22BC	1.25A	13.2BC	62.7C	54.1A	34.0AB	3.19BC
P6	45.7C	55.6AB	75.2BC	0.83BC	8.14A	10.60AB	1.33A	14.1B	64.2BC	54.6A	34.7A	3.72AB
P7	39.3D	50.6D	58.2D	0.78C	6.66B	7.69CD	1.18A	13.4BC	64.2BC	49.3BC	31.7BC	2.46DE
P8	49.9B	56.6AB	82.6AB	0.88AB	8.39A	10.60AB	1.27A	12.9BC	63.1C	43.1EF	27.3DE	2.96CD
P9	54.3A	57.8AB	91.2A	0.94A	6.58B	5.34E	0.85B	5.8E	59.4D	40.9F	24.4F	1.32F
极差比	1.38	1.16	1.57	1.15	1.37	2.06	1.61	2.73	1.17	1.34	1.43	2.99

注：有相同字母的数值间没有显著差异。

表5 腾冲红花油茶个体种实性状和含油指标的统计分析

Tab. 5 Statistics of fruit and seed traits, and oil content of individual trees in *C. reticulata*

性状	样本数	均值	标准差	变异系数/%	最小值	最大值	极差比
果高	291	45.72	5.856	12.81	33.00	66.04	2.00
果径	291	55.73	5.955	10.69	31.09	82.85	2.66
果质量	291	75.60	21.050	27.84	31.49	152.93	4.86
果型	291	0.83	0.111	13.39	0.57	1.57	2.75
单果籽数	291	8.06	2.378	29.49	2.60	20.46	7.87
单果籽质量	291	9.72	3.366	34.65	2.65	22.59	8.52
单籽质量	291	1.24	0.361	29.18	0.36	2.41	6.69
出籽率	291	13.12	3.840	29.27	4.18	23.05	5.51
出仁率	291	64.02	5.242	8.19	47.69	77.76	1.63
仁油率	291	49.03	6.909	14.09	27.12	62.67	2.31
籽油率	291	31.48	6.099	19.37	10.12	44.88	4.43
果油量	291	3.14	1.381	44.02	0.53	7.69	14.90

注:各性状的单位见表3。

2.4 种实性状与产量指标变异的遗传结构

从考察的12个种实和产量性状指标变异的方差分量总体看,个体间的变异 > 起源内种源间 > 起源间,但不同性状指标变异的遗传结构又有所不同。

4个果实性状在起源间、起源内种源间和种源内个体间的方差分量平均值分别为3.34%、10.04%和41.9%。但果型的起源方差分量高于起源内种源间。

种子性状在起源间和起源内种源间的方差分量平均值分别为3.19%和15.39%,剩余项的方差分量为81.42%,有一致的遗传变异规律,个体及其与生境互作的分量最高。

在产量指标中,仁油率和籽油率的起源方差分量大于起源内种源间,其余3个指标符合一般规律。

产量指标在起源间和起源内种源间的方差分量平均值分别为13.30%和26.68%,个体及其与生境互作效应分量为60.02%。

遗传结构反映了腾冲红花油茶种群种实性状和产量指标变异的基本遗传规律,也反映了不同性状指标的遗传变异特点,为选择改良提供了重要依据。

2.5 种实与产量性状指标间的相关分析

个体果实性状中的果高、果径和果质量与各种子性状均有显著或极显著的正相关,果实大可间接反映较好的单果种子量;但果型与单果籽数和单果籽质量则有显著的负相关,与各茶油产量指标的负相关也达显著水平,表明长形果实的相对产籽量和产茶油量一般低于圆形或扁圆形果实(表6)。

单果籽数、单果籽质量、单籽质量与果油量间,单果籽质量、单籽质量与所有产量指标间均有极显著的正相关,且相关系数值达到了中等水平,说明种子性状是产量指标的构成要素。各产量指标间均存在极显著正相关(表6)。

表6 腾冲红花油茶个体种实性状和含油指标的相关分析

Tab. 6 Correlation coefficients between fruit and seed traits and oil content of individual trees in *C. reticulata*

性状	果高	果径	果质量	果型	单果籽数	单果籽质量	单籽质量	出籽率	出仁率	仁油率	籽油率
果径	0.44**										
果质量	0.65*	0.83**									
果型	0.62**	-0.41**	-0.04								
单果籽数	0.12*	0.38**	0.34**	-0.19**							
单果籽质量	0.25**	0.49**	0.50**	-0.14*	0.57**						
单籽质量	0.16**	0.19**	0.22**	0.02	-0.26**	0.59**					
出籽率	-0.27**	-0.19**	-0.31**	-0.09	0.31**	0.63**	0.45**				
出仁率	-0.13*	-0.04	-0.11	-0.08	0.11	0.35**	0.32**	0.50**			
仁油率	-0.15**	-0.02	-0.10	-0.13*	0.03	0.35**	0.43**	0.49**	0.48**		
籽油率	-0.16**	-0.03	-0.12*	-0.13*	0.07	0.38**	0.42**	0.55**	0.75**	0.89**	
果油量	0.13*	0.38**	0.34**	-0.17**	0.48**	0.92**	0.60**	0.69**	0.56**	0.61**	0.69**

注:Pearson 相关系数,$n = 291$;**可靠性 > 0.01,* 可靠性 > 0.05。

相关分析结果表明,通过对果型和种子性状指标的选择,可以有效提高茶油产量指标。

2.6 种实性状、产量指标与地理位置和林分指标的相关分析

用林分植株平均高、平均干基直径分别除以林分平均树龄,代表植株生长状况和立地相对水平,用树高与干基直径比(高径比)和冠幅与干基直径比(冠径比)表示密度对植株相对影响,以及用各种群的海拔分布中间值、经度、纬度分别与各种实性状与产量指标做相关分析,结果见表7。

表 7　腾冲红花油茶种源的种实性状、含油指标与地理位置、林分指标的相关分析

Tab. 7　Correlation coefficients between location, stand factors and fruit traits, seed traits, oil content of seed source in *C. reticulata*

因子	果高	果径	果质量	果型	单果籽数	单果籽质量	单籽质量	出籽率	出仁率	仁油率	籽油率	果油量
海拔	0.756*	0.621#	0.756*	0.637#	-0.059	-0.268	-0.483	-0.633#	-0.577	-0.667*	-0.724*	-0.464
东经	0.541	0.008	0.254	0.740*	-0.582	-0.516	-0.456	-0.517	-0.401	-0.416	-0.475	-0.522
北纬	-0.225	-0.004	-0.239	-0.298	0.504	0.487	0.496	0.485	0.300	0.368	0.403	0.496
树高	-0.213	0.320	0.210	-0.516	0.010	-0.257	-0.380	-0.321	-0.503	-0.051	-0.216	-0.271
干基直径	0.245	0.702*	0.620#	-0.108	0.271	-0.067	-0.361	-0.402	-0.329	-0.376	-0.397	-0.205
高径比	-0.748*	-0.513	-0.556	-0.736*	-0.216	-0.165	0.034	0.178	-0.118	0.568	0.385	0.021
冠径比	0.056	-0.236	-0.261	0.214	-0.405	-0.188	-0.051	-0.029	-0.141	-0.327	-0.295	-0.250

注：Pearson 相关系数，$n = 9$；**可靠性 > 0.01，* 可靠性 > 0.05，#可靠性 > 0.10。

从分析结果看，海拔高度与果实性状存在显著的正相关，但与种子和产量指标则存在不同程度的负相关，其中与仁油率和籽油率的负相关系数达到了显著水平，说明高海拔不利于油茶产量。

种子和产量指标与经度的相关系数未达到统计上的显著水平，但均为负值，且数值在 0.4 ~ 0.6 之间，表现出一定的随经度增加而降低趋势；而种子和产量指标与地理纬度则均为正相关，数值在 0.3 ~ 0.5 之间，表现出一定的随纬度增加而增加的趋势。由于调查种群的地理分布幅度较小，这些地理变化趋势可能是多种生境因素综合影响的结果，可供发展腾冲红花油茶时参考。

植株干基直径与果径和果质量有较密切的正相关，高径比则与各果实性状有中度的负相关系数，并与果高和果型的负相关达到显著水平，显示有利的植株径向生长环境利于果实的发育。树高、干基直径和冠径比与其他种实和产量指标无显著相关，显示了这些性状指标间遗传上的相对独立性。

2.7　种群相似与系统关系分析

以种群各性状平均值为统计值，分别用果实和种子性状、全部性状指标对种群进行聚类。结果表明（图 1、2）：用种群果实与种子性状变异程度可将 9 个种群分为 3 类，其中腾冲西山坝、隆阳西邑、隆阳杨柳和腾冲马站 4 个种群归为一类；隆阳瓦窑独立为一类；腾冲沙坝、高黎贡山、昌宁漭水和凤庆小湾 4 个种群为一类，聚类结果表现了种群间种实特征的遗传相似与区别。3 个天然种群中，昌宁漭水和凤庆小湾两个地理相近种群聚为一类，腾冲马站属于另一类，显示了天然种群间的遗传分化差异。

以全部性状指标的变异程度可将 9 个种群分为两类，即腾冲西山坝、隆阳西邑、隆阳杨柳、腾冲马站、隆阳瓦窑 5 个群体归为一类，腾冲沙坝、高黎贡山、昌宁漭水、凤庆小湾 4 个群体归为一类。

尽管各人工种群的种源均来自腾冲马站，但是腾冲沙坝和高黎贡山 2 个人工种群并没有与其原产地种源聚为一类，显示了引种地生境与栽培条件对种群种实性状的一定选择效应。

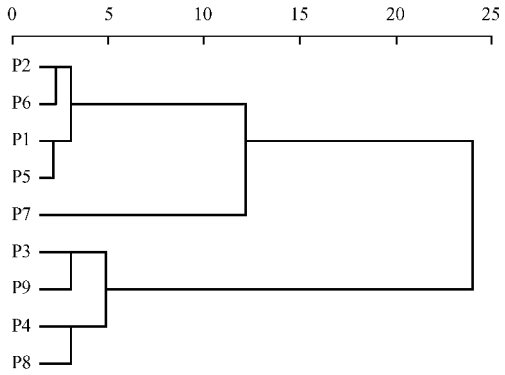

图 1　腾冲红花油茶果实与种子性状聚类分析图

Fig. 1　Cluster analysis of fruit and seed traits by seed source in *C. reticulata*

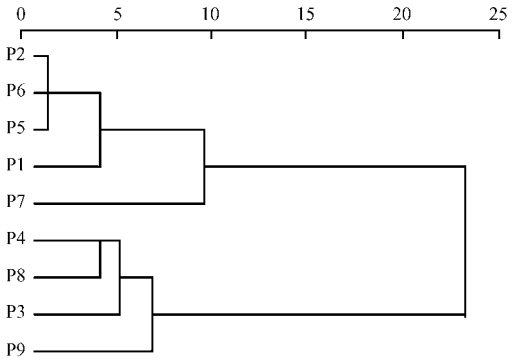

图 2　腾冲红花油茶种源的种实性状和产量指标聚类分析图

Fig. 2　Cluster analysis of fruit and seed traits and production indices by seed source in *C. reticulata*

综合比较各类间的分布海拔、栽培条件、起源、林分状况、树龄等因子，说明海拔对综合指标聚类的影响较为明显，栽培因素对果实性状、种子性状聚类有影响。

3　讨　　论

3.1　变异来源与主要变异的性状指标

腾冲红花油茶种实性状在起源、起源内种源林分间及种群内单株间均表现出极显著的差异，其变异大小因种群、性状而异。其经济性状的广泛变异与腾冲红花油茶是异花授粉树种，长期自然杂交及实生繁殖后代有关；亦与种群起源、环境、性状遗传

稳定性不尽相同有关。

各变异来源中方差分量值较大的种实性状在起源上主要是果型,在起源内种源间主要是果高和果质量,在种群内单株间主要是果型;种子性状的变异在起源上差异较小,在起源内种源林分间的方差分量值较大的性状指标是单果籽质量,在种群内单株间则全部种子性状均有较大变异;产量指标的方差分量较大值在起源上主要是仁油率和籽油率,在起源内种源间主要是出籽率,出仁率和果油量也有较大的方差分量,在种群内单株间主要是果油量。说明腾冲红花油茶的主要变异性状是果型、单果籽质量、出籽率、仁油率、籽油率及果油量,其中果油量是单果籽质量和籽油率的函数。起源效应主要通过影响果型、单果籽质量、出籽率、籽油率而影响产量,这与实际调查结果一致,即天然林果实有明显的果型原始性、多样性及果皮较厚、出籽率低的特点。

腾冲红花油茶果型与果油量呈显著负相关,果型与种质遗传特性有关,果油量则受种质遗传特性和生境条件的共同影响。在其他茶种的研究中也有相似的关系,即秤砣茶、尿泡茶等果高值较大的品种或类型,果皮厚、出籽率低,小米茶品种(类型)的果实虽小但出籽率高[7-8]。同时,肥水充足、授粉充分的植株果实籽粒数增多、籽粒质量及单粒质量、出籽率、籽油率增加。这与我们调查统计的结果是一致的,即腾冲红花油茶单果膨大粒数与未膨大粒数之和为18~21,而每果膨大成熟粒数平均仅为7.9。所以,腾冲红花油茶优树选择野外工作中应注意选择圆形或扁圆形、出籽率高的单株。

3.2 种群遗传结构特点

由于统计分析中各种子性状与产量指标以单株平均值为统计值,其剩余项方差分量反映了所有种群个体间的差异程度,其方差分量包括了不同种群个体间的遗传效应,也包括了个体与生境的交互效应,因此其方差分量有较高的估计值。而果实性状指标的种源内个体变异则不包括个体与环境的互作效应,因此估计值相对较低。

虽然因统计值的不同对遗传结构分析有影响,但各性状指标表现出的变异趋势是基本一致的。在12个种实性状和产量指标中,除果型、仁油率和籽油率3个指标呈起源大于起源内种源间外,其余性状指标整体上表现了单株间>起源内种源间>起源间的基本规律。说明影响腾冲红花油茶多数种实性状和产量相关指标的主要因素是个体间变异与种源间变异。

不同性状指标的遗传结构特点是:果实与种子性状在起源间、起源内种源间的平均方差分量百分比小于产量指标10%左右,表现了产量指标较容易受起源、种群遗传效应和生境效应的影响。

3.3 对种群变异影响的主要生境因子

海拔高度与果实性状有显著正相关,与种子和产量指标呈负相关,并与仁油率和籽油率的负相关达到显著水平,显示高海拔条件下油茶果实增大,而果实中种子发育水平与含油量则相对降低。分析认为,海拔对产量的影响主要与种实成熟期和有效积温有关,随海拔升高可能导致种实成熟期的推迟。果实指标是对鲜果的调查结果,而成熟度低的果实其部分养分尚未转化[13-14],果实含水量较高,收缩率低,果实质量等指标也会相对较高。而种子指标和产量指标则相反,由于种子成熟度较低,养分和贮藏物质的积累尚不充分,会导致相应指标的降低。调查显示,2 300 m以上区域分布的腾冲红花油茶其种实成熟期在10月中旬或以后,较1 800 m左右区域的成熟期9月中至下旬一般晚15 d以上。在腾冲红花油茶自然分布的滇西1 700 m以上地区,进入9月下旬(农历秋分节令)后气温(有效积温)明显下降,不利于腾冲红花油茶种子油分的积累,从而影响了仁油率和果油产量。

3.4 种群间的关联特点

通过对腾冲红花油茶3个天然和6个人工种群的果实性状和种子性状及全部性状指标分别系统聚类的结果显示:凤庆小湾、昌宁漭水、高黎贡山、腾冲沙坝4个分布海拔在2 200 m以上的种群相似而聚为同一类。说明就种群而言,海拔对经济性状的影响是最重要的因素,这与表7结果是一致的;起源对经济性状的影响小于环境和栽培因素的影响,可以从腾冲马站和昌宁漭水、凤庆小湾的聚类结果得到证明。所以,海拔、栽培要素是影响腾冲红花油茶产量的要素。虽然腾冲红花油茶在滇西海拔1 600~2 600 m范围分布,但适宜的栽培区域及科学管理措施才是获得高效益的关键因素。

3.5 群体及个体变异在油茶改良中的利用策略

人工林与天然林间的主要茶油产量相关指标均有显著差异,虽然可能因天然林海拔分布较高、树龄较大也会对指标间差异有一定影响,但从选择效率和指标的优势比等综合因素考虑,优良种质的选择应采取人工林分为主、天然林为辅的选择策略。

不同种源林分间在主要经济指标上均有较大程度变异,可以反映各种源林分间经济性状的遗传差异,同时也是立地条件因子与林分种质的交互作用结果。在规模化繁殖且缺乏适宜优良品种的情况下,利用优良种源林分的种子来规模化繁育种苗,可以保证培育林分的茶油产量有显著的提高,是解决

目前对种苗需求的有效途径。

个体间的变异在所有经济性状指标上均占有最大方差分量，除了林分内单株所处环境会对性状表现有一定程度影响外，种实性状的变异在大多数情况下具有相对稳定性[15]，是腾冲红花油茶选择改良的最重要种质资源，可以通过优株选择和无性系测定，培育优良品种，为可持续发展提供持续的优良种质支撑。

群体及个体变异集中反映了果型、单果籽质量、出籽率、仁油率、籽油率、果油量是腾冲红花油茶经济性状变异的主要指标。在各指标中，选择和培育圆形或近圆形果实，单果籽质量高，出籽率高（大于20%），仁油率高（大于55%），籽油率高（大于40%），果油量高的单株和品种是腾冲红花油茶科研、产业生产的方向和必然要求。建立优良人工林种源基地，提供目前规模化油茶林建设的优良种质，同时积极选择优株，培育和评选优良无性系品种，并根据产业发展需要，采用高接换种等措施，促进油茶林生产力进一步提高，建设高效的腾冲红花油茶产业原料基地，可为产业的可持续发展提供可靠的原料保障。

4　结　　论

1）腾冲红花油茶的主要变异性状是果型、单果籽质量、出籽率、仁油率、籽油率及果油量；

2）种实性状和产量指标的变异相对程度为单株间 > 起源内种源间 > 起源间；

3）高海拔不利于高产油茶林建设，选择适宜海拔可促进产量的提高。

4）圆形或近圆形果实植株有较高的茶油产量潜力；

5）充分利用各层次遗传变异，是提高油茶种质产量，促进产业发展的有效途径。

致谢　感谢国家跨区域重点推广示范项目和中国科学院昆明植物研究所山地生态系统研究中心为本研究提供经费，对参加调查和样品检测人员致以诚挚的谢意！

参　考　文　献

[1] 国家林业局. 全国油茶产业发展规划（2009—2020）[M/OL]. 北京：国家林业局，2009 [2010－02－02]. http://www.forestry.gov.cn.

[2] 贾良智，周俊. 中国油脂植物 [M]. 北京：科学出版社，1987.

[3] 冯国楣. 云南山茶花 [M]. 昆明：云南人民出版社，1981.

[4] 陈辉，刘国敏，刘玉宝，等. 油茶丰产林培育 [M]. 福州：福建科学技术出版社，2009.

[5] 庄瑞林. 中国油茶 [M]. 2 版. 北京：中国林业出版社，2008.

[6] 李世成. 云南省腾冲县红花油茶资源调查及利用分析 [J]. 西南林学院学报，2008，28（3）：11—14.

[7] 腾冲林学会. 腾冲红花油茶自然类型鉴定初报 [J]. 保山林业科技，1981（3）：17—21.

[8] 腾冲县林业局，云南省林科院. 腾冲红花油茶的花型与果实 [M]. 北京：中国林业出版社，1988.

[9] 刘子雷，姚小华，杨水平. 浙江红花油茶果实经济性状变异的研究 [J]. 西南大学学报（自然科学版），2007，29（4）：83—88.

[10] 杜洋文，孙凡，姚小华，等. 油茶果实主要数量性状遗传变异分析 [J]. 西南师范大学学报（自然科学版），2009，34（2）：39—42.

[11] SHI J，NAWAZ H，POHORLY J，*et al*. Extraction of polyphenolics from plant material for functional foods—engineering and technology [J]. *Food Reviews Internation*，2005，21（1）：139—166.

[12] BACKER W A. *Manual of quantitative genetics* [M]. 4th ed. Warsaw：Academic Enterprises，1985：58—62.

[13] 郑紫燕，郑国琦，朱强，等. 果实中糖分的运输和积累相关研究进展 [J]. 农业科学研究，2009（1）：42—46.

[14] 施泽彬，戴美松，孙田林，等. 翠冠与玉冠梨果实发育过程中色素、糖、酸累积特性研究 [J]，果树学报，2007，24（6）：833—836.

[15] 龙应忠，吴际友，童方平，等. 火炬松种子园无性系种实性状遗传与变异研究 [J]. 南京林业大学学报（自然科学版），2004，28（6）：103—106.

（责任编辑　李　契）