

不同海拔对香榧种子外观性状及营养品质的影响

孙小红¹, 周 瑾¹, 胡春霞¹, 吕洪飞², 储开江³, 王国夫^{1*}

(¹绍兴文理学院元培学院, 浙江绍兴 312000; ²浙江理工大学生命科技学院, 杭州 310018;

³浙江省嵊州市林业局, 浙江嵊州 312400)

摘 要:【目的】研究海拔高度对香榧种子外观性状及营养品质的影响, 为选择香榧适生海拔高度范围提供依据。【方法】在同一香榧产区的5个海拔段(65、480、516、565、645 m)采集香榧种子, 测定香榧种子的外观性状和营养品质, 运用 SPSS 19.0 对种蒲外观、种子长度、宽度、单粒质量等11个外观性状和粗脂肪、蛋白质、酸价等10个营养品质指标进行相关分析、逐步回归分析、因子通径分析、决定程度分析。【结果】海拔高度与种子长、出仁率、种蒲形指数等呈显著正相关($p < 0.05$), 说明随海拔的升高, 香榧种蒲变长, 种子变长, 出仁率增加。海拔高度与蛋白含量、硬脂酸含量、亚油酸含量呈显著负相关($p < 0.05$)。但不同海拔香榧粗油脂含量差异不显著($p > 0.05$)。因子通径分析表明海拔高度的变化主要影响香榧种子的种蒲重量和种子长度, 种蒲重量和种子长度两个外观性状的91.2%受海拔高度变化的影响。海拔高度的变化主要影响二十碳二烯酸、二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸等四个营养指标, 海拔对二十碳二烯酸的影响最大, 其余依次为二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸。香榧种子的4个营养成分指标的99.2%受海拔高度变化的影响。【结论】海拔高度的变化综合影响了香榧种子的部分外观性状和营养成分, 其中海拔高度对种蒲重量和二十碳二烯酸变异的直接作用最大。但海拔65 m香榧营养指标满足香榧生产基本要求, 香榧栽培可适当扩大到低海拔区域。

关键词: 香榧; 海拔; 种子; 营养品质; 相关分析

中图分类号: S664.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2019)04-0476-10

Effects of different altitudes on seed morphology and nutritional composition of *Torreya grandis* ‘Merrilli’

SUN Xiaohong¹, ZHOU Jin¹, HU Chunxia¹, LÜ Hongfei², CHU Kaijiang³, WANG Guofu^{1*}

(¹Yuanpei College, Shaoxing University, Shaoxing 312000, Zhejiang, China; ²College of Life Sciences, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China; ³Shengzhou Forestry Bureau of Zhejiang, Shengzhou 312400, Zhejiang, China)

Abstract: 【Objective】*Torreya grandis* ‘Merrilli’ is concentrated in the high altitude mountainous areas. Few studies on the effect altitude on the growth and seed nutrition of the tree are available. This work was to evaluate altitude effects on seed morphology and its nutritional composition of *T. grandis* ‘Merrilli’ to provide reference for determination of its suitable altitude range. 【Methods】*T. grandis* ‘Merrilli’ seeds were sampled from each of the 5 locations at different altitudes (65 m, 480 m, 516 m, 565 m and 645 m) with similar managements in Shenzhou, Zhejiang, in September 2017. The morphological and nutritional characters of the sampled seed were analyzed. 11 morphological parameters including aril-seed length, seed length and wide, shell thickness and seed weight and 10 nutritional ingredients including fats, proteins, acid value, peroxide value, palmitic acids and stearic acid were measured. The quantitative indexes of 30 nuts per sample were determined by conventional methods. The method of continuous extraction was used for the determination of fat content. The content of protein was assayed using Kjeldahl determination. The fatty acid composition was determined by Agilent 6890N/5975 MSD. The relative percentage of the oil constituents were quantified by calculating the rel-

收稿日期: 2019-01-04 接受日期: 2019-02-17

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LQ19C160003); 绍兴市2014年科技计划项目(2014B70032)

作者简介: 孙小红, 女, 副教授, 主要从事植物资源开发工作。Tel: 0575-88348545, E-mail: xhsun2000@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0575-88348545, E-mail: wgf83@usx.edu.cn

ative contents based on the peak areas with normalization method. The peroxide value and acid value of seed oil were determined by GB/T 5009.37-2003. Three biological repeats were made for each analysis. The data were processed with SPSS 19.0 for correlation analysis, gradual regression analysis, factor path analysis and determination degree analysis.【Results】The results showed that *T. grandis* ‘Merrilli’ seeds had the largest variation coefficient in the aril-seed length weight (13.12%). The variation coefficient of the other indexes was relatively low ($CV < 10\%$). With the increase in altitude, the aril and seed became longer, and the kernel recovery increased. There was a significant positive correlation between altitude and seed length, kernel recovery and shape index of aril-seed ($p < 0.05$). At low altitudes, aril-seed had a relatively small shape index. And there was a significant negative correlation between altitude and aril-seed diameter and weight ($p < 0.05$). Partial correlation analysis further revealed a significant positive correlation between altitude and seed length ($p < 0.05$). Path analysis indicated that aril-seed weight and seed length were the main predictable factors affected by altitude. The average oil content and variation coefficient at the 5 altitudes were 48.68% and 3.97%, respectively. However there was no significant difference in crude oil content ($p < 0.05$). The protein content decreased with the elevation, and the difference among altitudes was significant. There was a significant negative correlation between altitude and the contents of protein, stearic acid and linoleic acid. However, there was a significant positive correlation between altitude and oleic acid and eicotrienoic acid levels. The contents of eicosadienoic acid, eicosatrienoic acid, oleic acid and stearic acid were also affected by altitude. Partial correlation analysis further revealed that altitude was significantly positively correlated with the contents of eicosatrisenoic acid, oleic acid and stearic acid ($p < 0.05$), the partial correlation coefficients being 0.981, 0.971 and 0.819, respectively. The content of eicosatrisenoic acid, oleic acid and stearic acid increased with the increase in altitude. The direct effects of altitude on eicosadienoic acid were the highest, followed by those of eicosatrienoic acid, oleic acid and stearic acid. 99.2 % of the four nutritional traits of the seed were affected by the change in altitude.【Conclusion】*T. grandis* ‘Merrilli’ seeds had different characters at different altitudes. Changes in altitude affected the 11 morphological traits of the seeds. Variation in elevation affected the morphological characters and the nutritional ingredients in *T. grandis* ‘Merrilli’ seed, among of which aril-seed weight and eicosadienoic acid were most largely effected by altitude. *T. grandis* ‘Merrilli’ at low altitude had a slightly lower kernel recovery with stubby seeds and heavy and large aril-seed. There was no significant difference in fat content among altitudes. Protein content and linoleic acid content at low altitudes were higher than at high altitudes. The oil, protein, acid value and peroxide value at low altitudes all met the standards of Forestry Industry of the People's Republic of China (LY/T 1773-2008). The nutrition indexes at an altitude of 65m also met the basic requirements. It is suggested that *T. grandis* ‘Merrilli’ cultivation can be appropriately extended to low altitude areas.

Key words: *Torreya grandis* ‘Merrilli’; Altitude; Seed; Nutritional ingredients; Correlation analysis

香榧(*Torreya grandis* ‘Merrillii’),又叫细榧、中国榧,是原产于中国的红豆杉科榧树属常绿乔木,是一种孑遗植物^[1-2]。香榧种子为上等干果,具有独特风味,营养丰富,种子入药具有杀虫、消积、润燥的功效,具有很高的经济价值^[3]。

目前,香榧种植范围狭窄,至今仍局限在会稽山的特定小区域。有研究表明诸暨市香榧总量的

92.19%主要分布在海拔300~600 m,而海拔600 m以上和200 m以下香榧古树分布减少^[4-5]。嵊州古香榧树也主要分布于会稽山脉嵊州境内海拔300~800 m的山区。长期以来低海拔人为活动频繁,榧树资源破坏严重,致使低海拔香榧很少。但90年代以来,由于香榧较高的经济价值,多地都引种香榧,由高海拔向低海拔转移的趋势,且多是海拔低于150 m以

下的丘陵地区。不同海拔梯度下,生态因子存在着明显的变化规律。海拔变化常常导致温湿度、降雨量和光照情况发生变化,进而影响植物生长发育以及物质代谢,并影响植物结构和功能等,对作物的产量和品质产生影响,是一种重要的生态因子^[6-7]。

目前海拔高度变化对香榧生长及种子营养等方面的研究报道较少。香榧是一种重要的木本油料树种^[8],栽培地域性明显,研究其性状和营养成分各指标与海拔的相关关系非常必要。本文收集同一生态区域不同海拔高度下香榧种子,研究其性状及营养成分的变化,通过相关性分析和通径分析等统计方法,确定了海拔变化影响香榧种子的主要指标,同时采用逐步回归分析方法,分别建立香榧种子物理性状和营养指标与海拔间的多元线性最优回归方程,从而为选择香榧适生海拔高度提供理论依据,以期香榧产业化开发提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

香榧种子于2017年9月采自于浙江省嵊州市长乐镇的小昆和坎一村,背靠西白山,海拔最高1 017 m。年平均气温16.4℃,1月平均气温4.2℃,7月平均气温28.6℃。年平均降水量1 446.8 mm,无霜期235 d。选择65、480、516、565、645 m 5个不同的海拔段,香榧林经营管理条件相似。需要特别说明的是在同一生态区域65~480 m海拔段香榧树栽培较少且栽培时间短,未形成规模化生产,因此未采集香榧。其中海拔65 m为嵊州坎一现代万亩无公害香榧基地,引种香榧20 a以上,属于低海拔香榧,目前均已结果。采集标准是:选取30~40株树,在每株树冠的南面中上部随机采20个充分成熟的种蒲(种蒲在当地特指含有假种皮的香榧种子)。样品采后立即测定种蒲各项指标,试验样品放于干燥通风处,腐熟后剥去假种皮,晾晒过程中要经常翻动,使种子充分均匀干燥,当种子的含水量低于8%时放于干燥、密闭处。温度控制为0~4℃。

1.2 检测方法

1.2.1 测定种子外观性状 取每个样品30粒种子,测定每粒种子外观性状指标:采用游标卡尺测定种蒲长、宽,种核长、宽、壳(种子的硬种皮)厚和质量,计算种蒲形指数(种蒲形指数=种蒲长度/直径,含假种皮)和种形指数(种形指数=种子长度/直径)。

种蒲质量和种核质量采用电子分析天平测定。

1.2.2 测定种子营养指标 将干燥至恒重香榧种子(不含假种皮的种核)去壳,种仁用粉碎机粉碎均匀用于测定各营养指标。

采用索氏提取法测定含油量,具体方法是以乙醚为溶剂提取种仁油,计算出油率;采用凯氏定氮法测定种仁蛋白质含量。脂肪酸组分测定参照文献[9-11]将种仁油进行甲脂化后采用Agilent 6890N/5975MSD气-质联用仪测定,气相色谱条件:采用DB-WAX色谱柱(30.0 m×0.25 mm×0.25 μm),初始温度100℃,保持2 min,以8℃·min⁻¹升至250℃,保持8 min,进样口温度250℃;离子源温度250℃,进样量0.4 μL;载气(He)流量1 mL·min⁻¹;分流比为50:1。采用面积归一法进行各成分定量,即单个脂肪酸甲酯的含量是各个组分峰值面积占色谱图上的所有组分峰面积总和的百分比。香榧种仁油脂过氧化值和酸价测定采用《食用植物油卫生标准的分析方法》(GB/T 5009.37-2003)规定方法。

1.2.3 数据分析 数据统计分析采用Excel和SPSS19软件,并进行各性状间相关性分析、性状各指标对海拔的通径分析。根据通径分析,剖析各性状对海拔的直接作用(即通径系数)和间接作用并计算其大小。在性状相关分析的基础上,应用逐步回归分析方法中的逐步引入一剔除法(Stepwise),建立物理性状和营养特性与海拔的最优多元回归方程。

2 结果与分析

2.1 海拔高度对香榧种子外观性状的影响

2.1.1 海拔高度对香榧种子外观性状影响结果 海拔高度对香榧种子外观性状影响结果见表1。香榧外观性状变异系数最大的是种蒲质量,为13.12%。其他各指标变异系数相对稳定(CV<10%)。最小为种子直径,只有1.89%。出仁率高海拔与低海拔间差异显著($p < 0.05$)。高海拔香榧籽出仁率高。仁重则出现先下降后上升趋势。

种蒲最长的是最高海拔的香榧,达到3.32 cm,而种蒲最宽的是海拔最低的香榧,为2.10 cm。随海拔升高,差异显著。海拔上升,种蒲重量有下降趋势,海拔65 m和645 m差异显著。海拔65 m香榧种蒲形指数、种形指数较小,种子外形粗短;而高海拔香榧种蒲形指数、种形指数较大,种子外形以细长为主。香榧壳厚度受海拔梯度的影响不明显,低中

表 1 不同海拔地区香榧种子外观性状比较

Table 1 Morphological parameters of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seed with altitude

海拔 Altitudes/m	种蒲长 Aril-seed length/cm	种蒲直径 Aril-seed diameter/cm	种子长 Seed length/cm	种子直径 Seed diameter/cm	壳厚度 Seed coat thickness/cm	种蒲质量 Aril-seed weight/g	种子质量 Seed weight/g	仁质量 Kernel weight/g	出仁率 Kernel rate/%	种蒲形指数 Shape index of aril-seed	种形指数 Shape index of seed
65	3.20± 0.01 a	2.10± 0.22 a	2.89± 0.04 b	1.35± 0.06 a	0.07± 0.004 a	9.27± 0.05 a	1.97± 0.04 a	1.35± 0.03 b	68.26± 0.03 d	1.52± 0.01 c	2.14± 0.03 bc
480	2.97± 0.19 b	1.93± 0.07 cb	2.90± 0.03 b	1.38± 0.04 a	0.07± 0.001 a	6.92± 0.04 d	1.89± 0.04 b	1.28± 0.03 c	67.79± 0.06 e	1.54± 0.04 c	2.10± 0.08 c
520	3.17± 0.02 ab	1.91± 0.04 c	2.90± 0.03 b	1.32± 0.03 ab	0.06± 0.001 b	7.04± 0.03 d	1.51± 0.02 c	1.11± 0.03 d	73.21± 0.35 b	1.66± 0.04 a	2.20± 0.02 ab
560	3.25± 0.04 a	2.04± 0.04 ab	3.02± 0.20 a	1.37± 0.02 a	0.07± 0.001 a	8.66± 0.21 b	2.00± 0.01 a	1.40± 0.02 a	70.22± 0.02 c	1.59± 0.03 b	2.20± 0.01 ab
645	3.32± 0.1 a	2.01± 0.03 b	3.01± 0.01 a	1.33± 0.03 ab	0.07± 0.001 a	7.57± 0.03 c	1.85± 0.04 b	1.36± 0.02 ab	73.58± 0.13 a	1.65± 0.07 a	2.26± 0.02 a
平均值 Average	3.18	2.00	2.94	1.35	0.07	7.89	1.84	1.3	70.61	1.59	2.18
标准偏差 Standard deviation	0.131	0.078	0.065	0.025	0.004	1.038	0.196	0.115	2.702	0.062	0.062
变异系数 Coefficient of variation/%	4.13	3.93	2.21	1.89	6.58	13.12	10.64	8.82	3.83	3.92	2.85

注: 同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: Different letters in the same column indicated significant difference at $p < 0.05$ level. The same below.

高三个海拔点的壳厚度基本相同,都为 0.06 或 0.07 cm。

2.1.2 海拔高度与香榧种子外观性状的相关性分析 将不同海拔高度与该海拔段香榧种子 11 个外观性状进行相关性分析。结果见表 2。从表 2 中可以看出海拔高度与种子长、出仁率、种蒲形指数等呈显著正相关,说明随海拔的升高,种蒲变长,种子变

长,出仁率增加。海拔与种蒲宽、种蒲质量等呈显著负相关,说明随海拔的升高,种蒲质量下降,种蒲变窄,香榧呈细长形状。海拔高度对壳厚、种子质量、仁质量等基本无影响。

2.1.3 海拔高度变化与香榧种子外观性状变异的逐步回归分析 将海拔高度的变化(Y)设置为因变量,香榧种子外观性状设置为自变量(X_i),就香榧种

表 2 不同海拔高度与香榧种子外观性状的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of morphological parameters of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seed with altitude

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
Y	0.142	-0.515*	0.622*	-0.111	-0.067	-0.632*	-0.269	-0.066	0.624*	0.622*	0.508
X_1	1	0.530*	0.442	-0.247	0.031	0.384	0.058	0.369	0.530*	0.592*	0.463
X_2		1	0.109	0.083	0.420	0.866**	0.637	0.714**	-0.258	-0.363	-0.031
X_3			1	0.075	0.307	0.137	0.326	0.527*	0.396	0.382	0.692**
X_4				1	0.149	0.087	0.316	0.223	-0.584*	-0.326	-0.565*
X_5					1	0.365	0.893**	0.835**	0.482	-0.378	-0.101
X_6						1	0.648**	0.636*	-0.352	-0.367	-0.001
X_7							1	0.923**	-0.608*	-0.539*	-0.119
X_8								1	-0.306	-0.267	0.096
X_9									1	0.816**	0.779**
X_{10}										1	0.519*
X_{11}											1

注: *为在 0.05 水平显著相关,**为在 0.01 水平极显著相关。种蒲长(X_1)、种蒲直径(X_2)、种子长(X_3)、种子直径(X_4)、壳厚(X_5)、种蒲质量(X_6)、种子质量(X_7)、仁质量(X_8)、出仁率(X_9)、种蒲形指数(X_{10})、种形指数(X_{11})、海拔(Y)。表 3、表 4 同。

Note: * indicates significant correlation at the $p < 0.05$ level; ** indicates very significant correlation at the $p < 0.01$ level. X_1 =Aril-seed length, X_2 =Aril-seed diameter, X_3 =Seed length, X_4 =Seed diameter, X_5 =seed coat thickness, X_6 =Aril-seed weight, X_7 =Seed weight, X_8 =Kernel weight, X_9 =Kernel rate, X_{10} =Shape index of aril-seed, X_{11} =Shape index of seed, Y =Altitude. The same Table 3 and Table 4.

子外观性状受海拔高度变化的影响进行逐步回归分析。回归方程初始参数的选择标准： F 显著水平值 $F \leq 0.05$ 进入回归方程式， F 显著水平值为 $F \geq 0.01$ 剔除回归方程式。

得到下面回归方程： $Y = -5\,287.09 - 159.013X_6 + 2\,374.723X_3$ (X_6 是种蒲质量， X_3 是种子长)。上述方程式中， F 值为61.858，显著性水平小于0.05。多元相关系数 $R=0.955$ 。结果表明海拔高度变化综合影响了香榧的种蒲质量和种子长。

偏相关分析进一步揭示，海拔高度的变化(Y)与香榧的种子长(X_3)呈显著正相关，其偏相关系数为0.924。说明在该数据范围内随海拔高度的升高，香榧的种子长度随之升高。而海拔高度变化与种蒲质量(X_6)呈显著负相关，偏相关系数是-0.925，结果说明在此数据范围内随海拔的升高，香榧的种蒲质量随之下降(表3)。

表3 海拔高度与香榧种子各外观性状要素间的偏相关分析
Table 3 Partial correlation analysis between morphological parameters of *Torreya grandis* 'Merrillii' seed with altitude

	X_6	X_3
偏相关 Partial correlation	-0.925*	0.924*
T 值 Test value	-8.435	8.341
P 值 P value	0.000	0.000

2.1.4 因子通径分析海拔变化对香榧种子外观性状变异影响 前期逐步回归分析结果表明海拔高度的变化整体影响了香榧种子2个外观性状的变化。根据这两个性状各相关系数，进行因子通径分析。由表4可知，海拔对种蒲质量的直接作用最大(-0.731)，海拔对种蒲质量为直接负作用，对种子长为直接正作用。通过分析间接通径系数发现，海拔高度变动对种子长和种蒲质量的直接作用大于其间接

表4 海拔高度影响香榧种子各外观性状变异的通径分析
Table 4 Factor path analysis of the effect of altitude on the morphological parameters of *Torreya grandis* 'Merrillii' seed

因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	通径系数 (直接作用) Direct effect	间接作用 Indirect effect		
			X_6	X_3	合计 Total
X_6	-0.632*	-0.731	-	0.278	0.278
X_3	0.622*	0.723	-0.281	-	-0.281

作用。由此表明海拔高度的变化主要影响香榧种子的种蒲重量和种子长度。

2.1.5 分析香榧种子外观性状受海拔高度变化影响的决定程度 一个自变量对因变量的决定程度是决定系数，决定系数的大小可以用来决定某一性状作用的大小。前述研究表明了海拔高度的变化主要影响了香榧的种蒲重量和种子长两个外观性状的变化。通过逐步回归分析得到回归方程，其多元相关系数 $R=0.955$ ，因此总决定系数经过计算为： $R^2=0.912$ ，表明这2个外观性状因子及它们的交互效应受海拔高度变动影响，就是这2个变量的91.2%受海拔高度变化的影响，海拔升高，种蒲重量下降，但是种子变长。

2.2 海拔对香榧种子营养成分的影响

2.2.1 比较不同海拔高度香榧种子主要营养成分 研究发现种子含油率与种子香脆程度呈正相关^[12]，因此，种子油脂含量是重要的质量指标。由表5显示，从海拔65~645 m所收集到的香榧，种子含油率最高的在480 m，蛋白质含量最高在65 m，过氧化值最小在65 m，酸价最小在480 m，亚油酸含量最高的在480 m，在645 m处所采集香榧二十碳三烯酸含量最高。5个海拔段香榧种子种仁平均含油率为48.68%，变异系数为3.97%，最为稳定，且差异不显著($p < 0.05$)。衡量坚果质量的另一个指标是蛋白质。从表5可知，高海拔香榧蛋白质含量下降。衡量坚果(种子)品质优劣的重要指标还有油脂过氧化值和酸价。5个海拔香榧种子油脂的过氧化值成先上升后下降趋势，其值在0.018~0.069 meq·kg⁻¹，且差异显著。与国家食用油标准(GB2716-2005)相比(≤ 9.85 meq·kg⁻¹)，都符合标准。5个海拔段香榧种子酸价0.81~1.11 mg·g⁻¹(≤ 3 mg·g⁻¹)，都符合标准。说明不同海拔段香榧种子油脂品质都比较好。

香榧种仁油脂组成主要是油酸、亚油酸，另外还有较多的二十碳二烯酸、二十碳三烯酸等多种多不饱和脂肪酸。从表5中可以看出各海拔点的香榧亚油酸的含量相对较高，其次为油酸，这些数据与以往报道一致^[13-14]。香榧脂肪酸在不同海拔段香榧间存在不同程度的变化，其中变异较大的是二十碳三烯酸。随着海拔的上升，油酸含量有升高趋势，亚油酸含量下降，二十碳三烯酸含量上升。

2.2.2 海拔高度与香榧营养成分的相关分析 将海拔高度与该海拔段香榧种子10个营养性状进行相关性分析，结果见表6。从表6中可以看出海拔高度与蛋白含量、硬脂酸含量、亚油酸含量呈显著负相

表 5 不同海拔香榧种子营养成分变化情况

Table 5 Variations in nutritional ingredients of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seeds at different altitudes

海拔 Altitudes/m	w(油脂) Fats/%	w(蛋白质) Proteins/ %	w(过氧化值) Peroxide values/ (meq·kg ⁻¹)	w(酸价) Acid value/ (mg·g ⁻¹)	w(棕榈酸) Palmitic acid/%	w(硬脂酸) Stearic acid/%	w(油酸) Oleic acid /%	w(亚油酸) Linoleic acid/%	w(二十碳二烯酸) Eicosadienoic acid/%	w(二十碳三烯酸) Eicosatrienoic acid/%
65	49.09± 2.22 a	14.86± 1.02 a	0.018± 0.001 e	0.87± 0.08 bc	16.92± 0.09 a	9.63± 0.48 a	10.92± 0.33 c	40.90± 0.65 b	8.44± 0.37 a	9.23± 0.37 c
480	50.32± 0.30 a	10.93± 0.05 c	0.044± 0.002 b	0.81± 0.03 d	16.28± 0.65 a	8.55± 0.66 ab	11.59± 0.45 c	45.25± 0.93 a	6.25± 0.21 c	7.88± 0.16 d
520	45.33± 1.71 b	14.43± 0.51 a	0.069± 0.001 a	1.11± 0.02 a	13.03± 0.57 b	7.23± 0.26 d	13.04± 0.31 b	38.03± 0.92 c	7.41± 0.20 b	17.09± 0.28 b
560	49.29± 1.74 a	11.79± 0.26 b	0.031± 0.001 c	0.92± 0.15 ab	13.29± 0.66 b	7.59± 0.39 bc	15.42± 0.52 a	36.05± 0.72 d	7.87± 0.24 ab	16.18± 0.19 b
645	49.36± 0.56 a	11.08± 1.02 c	0.023± 0.001 d	1.02± 0.16 ab	16.54± 0.54 a	8.92± 0.99 a	13.22± 0.80 b	28.55± 0.48 e	7.73± 0.70 ab	22.80± 1.03 a
平均值 Average	48.68	12.62	0.037	0.95	15.21	8.38	12.84	37.76	7.54	14.64
标准偏差 Standard deviation	1.93	1.84	0.018	0.12	1.89	0.98	1.73	6.20	0.81	6.12

关,其中与蛋白和油酸相关性极显著,相关系数分别为-0.660和0.666。由此说明随着海拔高度的上升其种子的蛋白含量、硬脂酸含量和亚油酸含量随之降低。海拔高度与油酸、二十碳三烯酸呈显著正相关。说明随着海拔上升,其种子油酸和二十碳三烯酸含量随之增加。从表6也可以看出海拔高度对香榧粗油脂含量相关性不强(-0.062)。以上分析表明海拔高度的变化会对香榧种子的营养成分指标有一定的影响,但影响程度各异。海拔对香榧粗油脂含量影响较小,但是对脂肪酸组成影响较大,高海拔香榧油酸和二十碳三烯酸含量高,但亚油酸含量降低。

2.2.3 逐步回归分析海拔高度变化与香榧种子营养成分变异 将海拔高度的变化(Y)设置为因变量,

以同一海拔高度香榧种子营养成分为自变量(X_i),就海拔高度对香榧种子营养成分的影响进行逐步回归分析。回归方程初始参数的选择标准如下: F 的显著水平值为 $F\leq 0.05$,进入回归方程式; F 显著水平值为 $F\geq 0.01$,剔除回归方程式。进而得到以下回归方程: $Y=403.542+22.246X_{10}-194.993X_9+68.841X_7+37.001X_6$ 。其中 X_{10} 表示二十碳三烯酸, X_9 表示二十碳二烯酸, X_7 表示油酸, X_6 表示硬脂酸。上述方程式中, F 值为284.791,显著性水平小于0.05。多元相关系数 $R=0.996$ 。结果表明海拔高度变化综合影响了香榧种子二十碳三烯酸(X_{10}),二十碳二烯酸(X_9)、油酸(X_7)和硬脂酸(X_6)等营养成分。偏相关分析进一步揭示,海拔高度的变化(Y)与香榧种子的二十

表 6 不同海拔高度与香榧种子营养性状的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of nutritional ingredients in *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seed with altitude

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
Y	-0.062	-0.660**	0.330	0.353	-0.418	-0.533*	0.666**	-0.519*	-0.402	0.682**
X_1	1	-0.433	-0.607*	-0.388	0.431	0.449	-0.105	0.077	-0.084	-0.256
X_2		1	0.191	0.242	-0.168	0.141	-0.267	0.212	0.581*	-0.196
X_3			1	0.396	-0.641**	-0.685**	0.080	0.284	-0.483	0.008
X_4				1	-0.494	-0.345	0.295	-0.487	0.169	0.602*
X_5					1	0.777**	-0.679**	0.085	-0.001	-0.287
X_6						1	-0.453	0.070	0.412	-0.250
X_7							1	-0.504	0.221	0.610*
X_8								1	-0.400	-0.943**
X_9									1	0.279
X_{10}										1

注: * 为在 0.05 水平显著相关,**为在 0.01 水平极显著相关。油脂(X_1)、蛋白质(X_2)、过氧化值(X_3)、酸价(X_4)、棕榈酸(X_5)、硬脂酸(X_6)、油酸(X_7)、亚油酸(X_8)、二十碳二烯酸(X_9)、二十碳三烯酸(X_{10})。下同。

Note: * indicates significant correlation at the $p < 0.05$ level; **indicates very significant correlation at the $p < 0.01$ level. X_1 =Fats, X_2 =Proteins, X_3 =Peroxide values, X_4 =Acid value, X_5 =Palmitic acid, X_6 =Stearic acid, X_7 =Oleic acid, X_8 =Linoleic acid, X_9 =eicosadienoic acid, X_{10} =eicosatrienoic acid, Y=Altitudes. The same below.

碳三烯酸(X_{10})、油酸(X_7)和硬脂酸(X_6)的含量呈显著正相关,其偏相关系数分别为 0.981、0.971 和 0.819。说明在该数据范围内随海拔高度的升高,香榧种子的二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸含量随之升高。而海拔高度变化与二十碳二烯酸(X_9)的含量呈显著负相关,说明在该数据范围内随海拔高度的升高,香榧种子的二十碳二烯酸含量随之下降(表 7)。

表 7 海拔高度与香榧种子各营养成分要素间的偏相关分析
Table 7 Partial correlation analysis between nutritional ingredients of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seed with altitude

	X_{10}	X_9	X_7	X_6
偏相关 Partial correlation	0.981*	-0.988*	0.971*	0.819*
T 值 Test value	15.968	-20.117	12.779	4.507
P 值 P value	0.000	0.000	0.000	0.001

2.2.4 因子通径分析海拔变化对香榧种子营养性状变异的影响 前期逐步回归分析结果表明海拔高度的变化综合影响了香榧种子的 4 个营养性状的变异。根据这四个因子各相关系数之间的关系,将所选各营养性状因子(X_i)与海拔高度变化(Y)的相关系数剖分为直接作用和通过其他因子(X_j)的间接影响两部分进行通径分析。由表 8 可知,海拔对二十碳二烯酸的直接作用最大,其余依次为二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸。通过分析间接通径系数发现,海拔高度变动对二十碳二烯酸、二十碳三烯酸、油酸的直接作用大于其间接作用。对硬脂酸的间接作用大于直接作用。由此表明海拔高度的变化主要影响二十碳二烯酸、二十碳三烯酸和油酸含量的变异。

表 8 海拔高度影响香榧种子各营养性状变异的通径分析

Table 8 Factor path analysis of effect of altitude on the nutritional ingredients of *Torreya grandis* ‘Merrillii’ seed

因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	通径系数(直接作用) Direct effect	间接作用 Indirect effect				合计 Total
			X_{10}	X_9	X_7	X_6	
X_{10}	0.682**	0.607	-	-0.214 6	0.336 1	-0.046 3	0.075 2
X_9	-0.402	-0.769	0.169 4	-	0.121 8	0.076 2	0.367 4
X_7	0.666**	0.551	0.370 3	-0.167 0	-	-0.083 8	0.119 5
X_6	-0.533*	0.185	-0.151 8	-0.316 8	-0.249 6	-	-0.718 2

2.2.5 香榧种子营养性状受海拔高度变化影响的决定程度分析 前述研究表明海拔高度的变化综合影响了香榧种子的二十碳二烯酸、二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸等 4 个营养性状的变异。前期通过逐步回归分析得到回归方程,其多元相关系数 $R=0.996$,经过计算,这 4 个营养性状因子及它们的交互效应受海拔高度变动的总决定系数为: $R^2=0.992$,此结果说明 4 个变量的 99.2% 受海拔高度变化的影响。

3 讨 论

海拔是影响作物产量和品质的重要因子^[15-16]。如倪亚兰等^[17]研究了不同海拔对巫山竹贤核桃果实表型和油脂品质的影响,结果表明,含油率、蛋白质含量、脂肪酸组成以及核桃表型随着海拔的升高呈现一定变化趋势。香榧品质是一个综合性状,涉及到外观性状和营养品质两个方面的多项指标。在研究海拔因素对香榧种子品质影响时,应综合考虑。王小明等^[18]基于空间信息技术研究发现,香榧对海拔、坡度和坡向等因子具有高度选择性,海拔 300~600 m 是其最适宜的高度带,但并未说明海拔对香

榧籽品质的影响。本文通过对同一产区 5 个不同海拔高度香榧外观性状和营养品质性状的变异研究发现不同性状在不同海拔高度的变异存在一定差异,出仁率、种蒲形指数、种子长度、蛋白质等受海拔影响较大。但壳厚、油脂含量等基本稳定。说明海拔会影响香榧种子部分性状。储开江等^[19]研究发现海拔低于 200 m 的地方香榧枝条黄化现象比较严重,缓坡地香榧枝条黄化较山地严重,枝条黄化发生在 6 月到 9 月,刚好是香榧籽快速生长期,对香榧果实生长产生一定影响,可能影响低海拔香榧品质。

种子外观性状如长度、宽度、单粒重决定着种粒的大小,也是衡量香榧外观性状的重要指标。本研究中种子外观性状评价及观察表明海拔 65 m 香榧种蒲重量最大,但出仁率相对较低。海拔 65 m 香榧种子外形粗短,而高海拔香榧种子外形以细长为主。相关性分析表明,随海拔的升高,种子变长变小,出仁率增加。而随海拔的升高,种蒲重量下降,种蒲宽度变窄,香榧呈细长形状。本研究还表明,高海拔香榧种仁重量较大,出仁率也较高。出仁率与海拔呈显著正相关,说明海拔高度影响香榧出仁

率。类似结果在核桃中也有报道,不同海拔的三台核桃坚果出仁率有差异,在高海拔核桃出仁率显著提高^[20]。前期有研究认为单果重和出仁率与这两个指标受产地土壤肥力的影响较大^[21]。说明高海拔香榧经过千年积累,土壤养分相对充足,有利于香榧种仁生长。进一步通过逐步回归分析表明,海拔高度变化综合影响了香榧的种蒲重量和种子长度2个外观性状,但影响程度各不相同。偏相关分析也表明,海拔高度的变化主要影响香榧的种蒲重量和种子长度。通过决定程度分析进一步表明香榧2个外观性状变量91.2%受海拔高度变化的影响,从而影响香榧种子外形。

随海拔上升,香榧种子各营养指标变异系数都较大。随海拔升高,香榧蛋白质有降低趋势。这与刘金凤等^[22]测定不同海拔的核桃蛋白质含量以及孟亚雄等^[23]测定不同海拔大麦粗蛋白含量的研究报道一致。从实验结果看,低海拔,温差小,有利于蛋白质积累。

香榧仁中富含人体必需的脂肪酸,香榧脂肪酸的主要成分是不饱和脂肪酸,约占其总量的70%以上^[14]。本研究发现,不同海拔香榧油脂含量平均为48.68%,变异系数为3.97%,脂肪含量稳定,其差异随海拔梯度变化不显著。在海拔65~645 m采集的香榧种子粗脂肪含量变异小,但是各脂肪酸含量差异大。相关性分析表明海拔高度与硬脂酸含量、亚油酸含量呈显著负相关,海拔高度与油酸、二十碳三烯酸呈极显著正相关($p < 0.01$)。而刘金凤等^[22]在对核桃品质与海拔相关性研究中发现随海拔高度的上升,核桃的油酸、二十碳三烯酸含量随之降低,不同种子有差别。偏相关分析进一步揭示,海拔高度的变化与香榧种子的二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸的含量呈显著正相关,说明在该数据范围内随海拔高度的升高,香榧种子的二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸含量随之升高。另外,值得注意的是在本实验中亚油酸和海拔的相关系数分别为-0.519,其相关程度大于二十碳二烯酸与海拔的表型相关系数-0.402,但通径分析结果表明海拔对二十碳二烯酸的直接影响则达到了极显著水平。说明性状间的表型相关分析不能判定各自变量对依变量的影响大小,而采用通径分析可以区分海拔对各性状的直接影响程度,从而找到海拔影响营养指标的主要因素。通过分析间接通径系数发现,海拔高度变动对

二十碳二烯酸、二十碳三烯酸、油酸的直接作用大于其间接作用。决定程度分析进一步表明香榧这4个营养成分变量99.2%受海拔影响。由此表明海拔高度的变化主要影响二十碳二烯酸、二十碳三烯酸和油酸含量的变异。香榧多不饱和脂肪酸二十碳二烯酸、二十碳三烯酸含量的遗传稳定性较差,受环境影响较大。在核桃中也发现多不饱和脂肪酸含量稳定性差的问题^[24],值得进一步研究。

4 结 论

低海拔香榧经过20多年的尝试,也能够开花结果,栽培成功。海拔高度变化综合影响了香榧种子11个物理性状,但主要影响香榧的种蒲重量和种子长度。海拔65 m香榧种子外形粗短,而高海拔香榧种子外形以细长为主。香榧种子营养成分总体受海拔高度变化的影响,但主要影响二十碳二烯酸、二十碳三烯酸、油酸和硬脂酸含量的变异。总体而言,低海拔香榧出仁率稍低,种子粗短,种蒲重而大,低海拔香榧油脂含量与高海拔香榧差异不显著,蛋白含量、油酸含量都高于高海拔香榧。基于本研究结果,参照中华人民共和国林业行业标准(LY/T 1773-2008),海拔65 m香榧营养指标也能够满足香榧生产基本要求。嵊州市现有香榧种植面积8 000 hm²,多在海拔480 m以上,根据以上研究结果,海拔100 m以下的低山丘陵,只要地形起伏较大,环境比较阴湿,香榧均能正常生长结实。即使高温、干旱的低丘,只要在幼龄阶段采取遮阴、灌溉使香榧度过幼龄期,提早形成林分环境就能正常结果。在浙、皖、赣、闽等省有很多低海拔的低丘红壤,只要管理得当,也可以适当引种香榧,从而扩大香榧栽培面积。

参考文献 References:

- [1] 戴正,陈力耕,童品璋. 香榧品种遗传变异与品种鉴定的 ISSR 分析[J]. 园艺学报,2008,35(8): 1125-1130.
DAI Zheng, CHEN Ligeng, TONG Pinzhang. Genetic variation and fingerprinting of *Torreya grandis* cultivars detected by ISSR markers[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(8): 1125-1130.
- [2] SUN X H, MANTRI N, GE J, DU Y J, WANG G F, LU J Y, JIANG W, LU H F. Inhibition of plant pathogens *in vitro* and *in vivo* with essential oil and organic extracts of *Torreya grandis* 'Merrilli' aril[J]. Plant Omics Journal, 2014, 7(5): 337-344.
- [3] 于美,张川,曾茂茂,何志勇,陈洁. 香榧坚果中油脂和蛋白质的研究进展[J]. 食品科学,2016,37(17): 255-256.
YU Mei, ZHANG Chuan, ZENG Maomao, HE Zhiyong, CHEN

- Jie. Recent advances in research on oils and proteins from *Torreya grandis* nuts[J]. Food Science, 2016, 37(17): 255-256.
- [4] 孟鸿飞, 金国龙, 翁仲源. 诸暨市香榧古树资源调查[J]. 浙江林学院学报, 2003, 20(2): 134-136.
- MENG Hongfei, JIN Guolong, WENG Zhongyuan. Investigation on resource of ancient *Torreya grandis* trees in Zhuji City, China[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2003, 20(2): 134-136.
- [5] 张才德, 杨水章, 严月英. 香榧林地土壤条件的初步研究[J]. 土壤通报, 1987, (9): 170-174.
- ZHANG Caide, YANG Shuizhang, YAN Yueying. Preliminary study on soil condition of *Torreya grandis* forest[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1987, (9): 170-174.
- [6] SILVANINI A, DALL'ASTA C, MORRONE L, CIRLINI M, BEGHÈ D, FABBRI A, GANINO T. Altitude effects on fruit morphology and flour composition of two chestnut cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 176: 311-318.
- [7] KOYUNCU M A, EKINCI K, GUN A. The effects of altitude on fruit quality and compression load for cracking of walnuts (*Juglans regia* L.) [J]. Journal of Food Quality, 2004, 27 (6): 407-417.
- [8] 孙小红, 周瑾, 胡绍泉, 吕洪飞, 王国夫. 香榧籽的品质分级与综合评价[J]. 果树学报, 2018, 35(10): 1286-1296.
- SUN Xiaohong, ZHOU Jin, HU Shaoquan, LV Hongfei, WANG Guofu. Quality-based grading system and integrated evaluation for *Torreya grandis* 'Merrilli'[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(10): 1286-1296.
- [9] 阙斐, 张星海, 赵粼. 香榧籽油的超临界萃取及其脂肪酸组成的比较分析研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(2): 33-36.
- QUE Fei, ZHANG Xinghai, ZHAO Lin. Extraction of oil from *Torreya grandis* cv. Merrilli seed with supercritical CO₂ and comparison of its fatty acid with other four vegetable oils[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28 (2): 33-36.
- [10] 杨春英, 刘学铭, 陈智毅. 15 种食用植物油脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 211-214.
- YANG Chunying, LIU Xueming, CHEN Zhiyi. Determination of fatty acid profiles in fifteen kinds of edible vegetable oil by Gas Chromatography- Mass spectrometry[J]. Food Science, 2013, 34(6): 211-214.
- [11] 韩宁林, 胡文翠, 王东辉, 韦金辉, 厉锋. 香榧优良品种细榧内的 4 个优良类型调查研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20 (5): 604-608.
- HAN Ninglin, HU Wencui, WANG Donghui, WEI Jinhui, LI Feng. Investigation on four type of *Torreya grandis*[J]. Forest Research, 2007, 20 (5): 604-608.
- [12] 叶丽君, 许良, 邱瑞霞, 黄雪松. 澳洲坚果仁油的品质特性及其氧化稳定性的研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30 (7): 42-47
- YE Lijun, XU Liang, QIU Ruixia, HUANG Xuesong. Quality characteristics and oxidative stability of Macadamia nut oil[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30 (7): 42-47.
- [13] 黎章矩, 骆成方, 程晓建, 冯肖军, 喻卫武. 香榧种子成分分析及营养评价[J]. 浙江农林大学学报, 2005, 22 (5): 540-544.
- LI Zhangju, LUO Chengfang, CHEN Xiaojian, FENG Xiaojun, YU Weiwu. Component analysis and nutrition evaluation of seeds of *Torreya grandis* Merrilli[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2005, 22(5): 540-544.
- [14] 胡绍泉, 求鹏英, 杜轶君, 王国夫, 孙小红. 绍兴市售香榧坚果品质研究[J]. 中国南方果树, 2016, 45 (3): 102-106.
- HU Shaoquan, QIU Pengyin, DU Yijun, WANG Guofu, SUN Xiaohong. Quality evaluation of *Torreya grandis* 'Merrilli' from Shaoxing commercially available[J]. South China Fruits, 2016, 45 (3): 102-106.
- [15] 张霁, 蔡传涛, 蔡志全, 刘贵周, 罗媛, 杨志雄. 不同海拔云南黄连生物量和主要有效成分变化[J]. 应用生态学报, 2008, 19 (7): 1455-1461.
- ZHANG Fei, CAI Chuantao, CAI Zhiquan, LIU Guizhou, LUO Yuan, YANG Zhixiong. Variation patterns of *Coptis teeta* biomass and its major active compounds along an altitude gradient [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19 (7): 1455-1461.
- [16] 潘红丽, 李迈和, 蔡小虎, 吴杰, 杜忠, 刘兴良. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性[J]. 生态环境学报, 2009, 18 (2): 722-730.
- PAN Hongli, LI Maihe, CAI Xiaohu, WU Jie, DU Zhong, LIU Xingliang. Responses of growth and ecophysiology of plants to altitude[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18 (2): 722-730.
- [17] 倪亚兰, 辜夕容, 邓雪梅, 刘颖旎, 杨世雄, 张泽宇, 代军帅, 陈华, 周丰武, 王玉书. 海拔对巫山竹贤核桃果实表型油脂品质的影响[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 135-140.
- NI Yalan, GU Xirong, DENG Xuemei, LIU Yingni, YANG Shixiong, ZHANG Zeyu, DAI Junshuai, CHEN Hua, ZHOU Fengwu, WANG Yushu. Effect of altitude on fruit characters and oil quality of *Juglans regia* in Zhuxian, Wushan[J]. China Oils and Fats, 2017, 42(2): 135-140.
- [18] 王小明, 王珂, 敖为超, 邓劲松, 韩凝, 朱晓芸. 基于空间信息技术的香榧适生环境因子分析[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2550-2554.
- WANG Xiaoming, WANG Ke, AO Weijiu, DENG Jinsong, HAN Ning, ZHU Xiaoyun. Habitat factor analysis for *Torreya grandis* cv. Merrillii based on spatial information technology[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(11): 2550-2554.
- [19] 储开江, 马全福, 周绍仲, 黄志汉, 孔兴华. 香榧枝条黄化原因探析[J]. 浙江林业科技, 2010, 30(2): 49-52.
- CHU Kaijiang, MA Quanfu, ZHOU Shaozhong, HUANG Zhihan, KONG Xinghua. About the causes of yellowing of *Torreya grandis* cv. merrillii branches[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2010, 30(2): 49-52.

- [20] 张雨,陆斌,冯倩,毛云玲,白永顺,董静.海拔高度对三台核桃果实性状变异规律研究[J].西北林学院学报,2011,26(4): 108-111.
- ZHANG Yu, LU Bin, FENG Qian, MAO Yunling, BAI Yongshun, DONG Jing. Variation of fruit characters of walnut under different elevations[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4): 108-111.
- [21] 黄其颖,王飞高,赵元军,李瑞芳,胡杨勇,张春苗,赵科理,储开江,吴家胜,叶正钱.硼锌铜钼配施对香榧生长和果实产量及品质的影响[J].经济林研究,2015(3): 33-38.
- HUANG Qiyong, WANG Feigao, ZHAO Yuanjun, LI Ruifang, HU Yangyong, ZHANG Chunmiao, ZHAO Keli, CHU Kaijiang, WU Jiasheng, YE Zhengqian. Effects of boron, zinc, copper and molybdenum fertilizers on plant growth, nut yield and nut quality in *Torreya grandis* [J]. Nonwood Forest Research, 2015(3): 33-38.
- [22] 刘金凤,陆斌,苏为耿,赵平,聂艳丽,阚欢,黄佳聪.海拔高度对‘细香’核桃坚果经济性状及营养成分的影响[J].果树学报,2013,30(5): 779-786.
- LIU Jinfeng, LU Bin, SU Weigeng, ZHAO Ping, NIE Yanli, KAN Huan, HUANG Jiacong. Effects of elevations on the economic characters and nutritional ingredients of ‘Xixiang’ walnuts[J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(5): 779-786.
- [23] 孟亚雄,赵向田,马小乐,李葆春,杨轲.海拔对啤酒大麦产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2016,36(9): 1258-1263.
- MENG Yaxiong, ZHAO Xiangtian, MA Xiaole, LI Baochun, YANG Ke. Effect of altitude on quality and yield of different Malting barley varieties[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(9): 1258-1263.
- [24] 夏国华,朱先富,俞春莲,代英超,王正加,黄坚钦,刘力.不同地理种源大别山山核桃坚果表型性状和脂肪酸组分分析[J].果树学报,2014,31(3): 370-377.
- XIA Guohua, ZHU Xianfu, YU Chunlian, DAI Yingchao, WANG Zhengjia, HUANG Jianqin, LIU Li. Variability of phenotypic characters and fatty acid composition of endemic hickory nuts (*Carya dabieshanensis*) from different geographical provenances [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(3): 370-377.