

不同海拔高度对香榧果实品质影响及其综合评价

杨先裕¹, 姚宏¹, 范芳娟^{2*}, 颜福花¹, 李凯³, 陈操⁴, 吴连海^{1*}

(1. 丽水市农林科学研究院, 丽水 323000; 2. 丽水职业技术学院, 丽水 323000; 3. 莲都区生态林业发展中心, 丽水 323000; 4. 丽水市白云山生态林场, 丽水 323000)

摘要:为探讨不同海拔高度对香榧果实品质的影响,以同一香榧产区4个不同海拔段(300、600、800和1 000 m)采集的香榧果实为研究对象,测定香榧果实和果核的外观性状和果核的营养性状指标,并运用SPSS 19.0进行相关性分析和主成分分析;同时建立其果实品质综合评价模型,对各海拔区段香榧果实品质进行综合评价。结果表明:果长、果径、单核质量、核长、核径、核含水率、油酸等香榧果实品质指标与海拔高度呈现极显著或显著正相关性,相关系数分别为0.832、0.619、0.637、0.917、0.622、0.881和0.885;含仁率、含油率、棕榈酸、硬脂酸、亚油酸、二十碳二烯酸与海拔高度呈现极显著负相关性,相关系数分别为-0.852、-0.780、-0.720、-0.708、-0.862和-0.700;而单果质量、核型指数、出核率、粗蛋白、亚麻酸、二十碳烯酸等指标与海拔相关性不显著。通过主成分分析,提取4个主成分因子,建立不同海拔香榧果实品质综合评价模型 $F_{综合}=0.494 F_1+0.237 F_2+0.153 F_3+0.116 F_4$,计算不同海拔香榧果实品质综合评价得分表现为1 000 m > 800 m > 600 m > 300 m。海拔高度对多个香榧果实品质指标均有显著或极显著影响,综合各指标影响因素,香榧果实综合品质高海拔区段最优。

关键词: 香榧; 海拔; 果实品质; 相关性分析; 主成分分析; 综合评价

中图分类号: S664.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2023)05-0792-06

Effects of different altitudes on *Torreya grandis* 'Merrillii' fruit quality and its comprehensive evaluation

YANG Xianyu¹, YAO Hong¹, FAN Fangjuan², YAN Fuhua¹, LI Kai³, CHEN Cao⁴, WU Lianhai¹

(1. Lishui Institute of Agriculture and Forestry Sciences, Lishui 323000; 2. Lishui Vocational & Technical College, Lishui 323000; 3. Lishui Liandu Ecological Forestry Development Center, Lishui 323000; 4. Lishui Baiyunshan Ecology Forest Farm, Lishui 323000)

Abstract: To explore the effect of different altitudes on the fruit quality of *Torreya grandis* 'Merrillii', so as to provide a theoretical basis for the high-quality cultivation of *T. grandis* 'Merrillii', fruits of *T. grandis* 'Merrillii' collected at 4 different altitudes (300, 600, 800 and 1 000 m) in a *T. grandis* 'Merrillii' production area were used as the research object, the appearance characters of the *T. grandis* 'Merrillii' fruit and its seed, and the nutritional properties of the seed were tested and analyzed through correlation analysis and principal component analysis with SPSS19.0. Meanwhile, a comprehensive evaluation model for fruit quality was established to make a comprehensive evaluation of *T. grandis* 'Merrillii' fruits from different altitudes. The results showed that: *T. grandis* 'Merrillii' fruit quality indicators as the fruit length, fruit diameter, seed weight, seed length, seed diameter, seed moisture percentage, oleic acid and so on showed extremely significant or significant positive correlations with the altitude, and the correlation coefficients of each were 0.832, 0.619, 0.637, 0.917, 0.622, 0.881 and 0.885, correspondingly; indicators as the kernel percentage, oil content, palmitic acid, stearic acid, linoleic acid and eicosadienoic acid showed significant negative correlations with the altitude, and the correlation coefficients of each were -0.852, -0.780, -0.720, -0.708, -0.862 and -0.700, respectively; however, indicators as the fruit weight, karyotype index, nucleation rate, crude protein, linolenic acid, eicosenoic acid, etc.. showed no significant correlation with the altitude. Performing the principal component analysis, the comprehensive evaluation model of *T.*

收稿日期: 2022-10-10

基金项目: 丽水市科学技术局公益性技术应用研究项目(2020GYX13)资助。

作者简介: 杨先裕, 硕士, 助理研究员。E-mail: hkyangxianyu6698@163.com

* 通信作者: 范芳娟, 讲师。E-mail: cherish_nu@163.com 吴连海, 正高级工程师。E-mail: qlh86@163.com

grandis ‘Merrillii’ fruit quality at different altitudes were $F_{\text{comprehensive}} = 0.494 F_1 + 0.237 F_2 + 0.153 F_3 + 0.116 F_4$, and the comprehensive evaluation scores of *T. grandis* ‘Merrillii’ fruit quality at different altitudes showed the sequence as 1 000 m > 800 m > 600 m > 300 m. Altitude has a significant or extremely significant effect on multiple *T. grandis* ‘Merrillii’ fruit quality indicators. Taking different influencing factors into consideration, *T. grandis* ‘Merrillii’ fruits from the high altitude section have the best comprehensive quality.

Key words: *Torreya grandis* ‘Merrillii’; altitude; fruit quality; correlation analysis; principal component analysis; comprehensive evaluation

香榧 (*Torreya grandis* ‘Merrillii’) 属红豆杉科榧属, 常绿乔木, 是原产于中国的珍贵经济树种^[1], 主要生长在中国南方较为湿润的地区, 以浙江会稽山脉一带的诸暨、绍兴、嵊州、东阳分布最多^[2-3]。香榧是集果用、材用、油用、药用和观赏于一体, 具有多用途的珍贵经济树种^[4], 同时也是一个长寿树种, 产果期可达 300~500 年^[5]。香榧果经炒制后食用, 松脆可口, 营养丰富, 风味香醇, 且具有杀虫、消积、润燥等药用保健功效^[6], 深受广大消费者喜爱。近几年来, 香榧产业在浙江、安徽、福建、贵州等山地资源丰富地区迅速发展, 是目前经济价值和栽培效益最好的干果之一, 被产区农民称为“摇钱树”“绿色银行”^[7]。

山区的自然资源丰富, 适合种植香榧, 但是各地自然资源禀赋差异也相对明显, 不利于规模化、标准化发展, 其中海拔就是影响香榧种植的一个重要因子。大量研究表明, 相同地区海拔高度不同会导致光照、温度、湿度等生态环境因子以及动植物群落、微生物群落的变化等^[8-12]。李俊南等^[13]研究了不同海拔下娘青核桃坚果性状及营养特征, 发现差异显著。孙小红等^[14]研究认为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, 特别是对种蒲重量和二十碳二烯酸影响显著。目前海拔高度变化对香榧果实品质综合评价影响方面的研究报道较少。由于分布范围相对狭窄, 香榧主产区多分布在海拔 200~800 m 的山地。香榧品质的差异直接影响其经济效益^[15], 如何在不同海拔地区培育优质香榧是亟需解决的重点问题。本文以浙西南香榧重点发展产区不同海拔种植的香榧为研究对象, 测定不同海拔香榧果实外观性状和品质, 通过相关性分析, 比较不同海拔地区香榧品质差异。将各香榧果实品质指标进行无量纲化处理, 并对其主成分分析, 以其对应特征值占总特征值的比例为权重, 建立不同海拔香榧果实品质综合评价模型, 计算各海拔区段香榧果实品质综合评价得分, 以期为山区不同海拔香榧的优质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及试材

试验地位于浙江省丽水市缙云县舒洪镇香榧产区, 地理位置 119°12'38" E, 28°41'14" N。丽水市是典型的山区, 山地资源丰富, 以海拔 300~1 000 m 为主, 属中亚热带季风气候区, 气候温和, 冬暖春早, 无霜期长, 雨量丰沛。年平均气温为 17.0 °C, 最热月 (7 月) 平均气温 28.3 °C, 最冷月 (1 月) 平均气温 6.7 °C, 极端最高气温 41.9 °C, 极端最低气温 -13.1 °C, 年平均降雨量 1 437 mm, 无霜期 245 d。2020 年, 在试验地香榧种植区, 筛选海拔 300、600、800 和 1 000 m 4 个不同海拔段的, 气候环境相近、香榧种植、林地经营管理基本一致的香榧种植区, 每个区块随机选择 3 个重复样地, 试验材料均为 15 年生正常结果的香榧树。

1.2 方法

1.2.1 香榧果实性状和品质检测 在 4 个不同海拔段的香榧种植区分别随机采集 1 kg 果实, 测定果实的单果质量、果长、果径、单核质量、核长、核径、核型指数、出核率、核含水率、含仁率、含油率、粗蛋白和脂肪酸成分。

单果质量和单核质量用电子天平称取, 精确到 0.01 g; 果横径、果纵径、核横径、核纵径用游标卡尺测量, 精确到 0.01 mm; 核型指数 = 核长/核径; 出核率 = 核鲜质量/果鲜质量 × 100%; 核含水率 = (核鲜质量 - 核干质量) / 核鲜质量 × 100%; 含仁率 = 果仁质量/核干质量 × 100%。

测定干种仁的含油率、粗蛋白含量和脂肪酸成分等营养性状指标。其中, 含油率 = 油脂质量/果仁质量 × 100%, 参照《GB/T 5009.6—2003 食品中脂肪的测定》, 用索式抽提法提取粗脂肪含量; 粗蛋白含量 = 粗蛋白质量/果仁质量 × 100%, 参照《GB 14489.2—2008 植物油料粗蛋白质的测定》, 用 Buchi 凯氏定氮仪 (K-355) 分析; 脂肪酸成分为各脂肪酸组成占油脂质量中的比重, 参照《GB/T 17376—2008 脂肪酸甲酯制备》进行甲酯化, 用气相色谱仪 (Agilent 7890A) 分析。

1.2.2 统计分析方法 数据通过 Excel 2007 软件进行整理, 采用 SPSS Statistics 19.0 进行统计学分析处理, 采用 Duncan 修复极差法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 不同海拔香榧果实性状和品质分析

2.1.1 不同海拔香榧果实外观性状分析 比较不同海拔高度香榧果实外观性状指标, 结果(表 1)显示, 不同海拔间各香榧果实外观性状指标存在显著差异。其中, 高海拔(1 000 m)区段香榧, 所测各项外观性状指标, 除核型指数外, 均具有最大值, 且除了单果质量与中低海拔(600 m 和 300 m)区

段差异不显著外, 其余指标均显著高出中低海拔(600 m 和 300 m)区段。从核型指数来看, 海拔 600 m 区段显著大于其他海拔区段, 说明该区段香榧较其他区段表现为更加细长。

以海拔(H)为因变量, 各香榧果实外观性状指标(X_1 — X_7)为变量, 进一步分析其间相关性。结果(表 2)显示, 海拔高度与除单果质量和核型指数外的各检测指标均呈现显著或极显著的正相关性。其中, 海拔高度与果长、单核质量、核长呈极显著正相关, 相关系数分别达 0.832、0.637 和 0.917。说明随着海拔升高, 香榧的单果质量和核型指数变化不显著, 但其果实大小、种核大小均显著增加。

表 1 不同海拔香榧果实外观性状比较

Table 1 Comparison of appearance characters of *T. grandis* 'Merrillii' fruits at different altitudes

海拔/m	单果质量/g	果长/mm	果径/mm	单核质量/g	核长/mm	核径/mm	核型指数
300	7.98±0.26 ^{ab}	30.70±0.12 ^c	21.10±0.13 ^b	2.64±0.08 ^b	27.75±0.09 ^c	13.14±0.13 ^b	2.11±0.05 ^c
600	7.69±0.27 ^{ab}	31.89±0.34 ^{bc}	20.38±0.10 ^c	2.49±0.09 ^c	28.93±0.27 ^b	12.42±0.16 ^c	2.33±0.11 ^a
800	7.42±0.52 ^b	32.79±0.24 ^{ab}	21.37±0.30 ^b	2.68±0.12 ^b	29.83±0.30 ^a	13.41±0.26 ^b	2.22±0.08 ^b
1 000	8.30±0.51 ^a	33.78±1.69 ^a	21.74±0.17 ^a	2.88±0.07 ^a	30.07±0.55 ^a	13.78±0.10 ^a	2.18±0.09 ^{bc}

注: 同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

表 2 海拔高度与香榧果实性状之间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between altitudes and *T. grandis* 'Merrillii' fruit characters

	H	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
H	1							
X_1	0.158	1						
X_2	0.832**	0.150	1					
X_3	0.619*	0.292	0.549*	1				
X_4	0.637**	0.549*	0.520*	0.902**	1			
X_5	0.917**	0.099	0.860**	0.518*	0.545*	1		
X_6	0.622*	0.296	0.540*	0.982**	0.906**	0.503*	1	
X_7	0.152	-0.232	0.190	-0.599*	-0.490	0.352	-0.631**	1

注: *为在 0.05 水平显著相关, **为在 0.01 水平极显著相关。下同。 H , 海拔; X_1 , 单果质量; X_2 , 果长; X_3 , 果径; X_4 , 单核质量; X_5 , 核长; X_6 , 核径; X_7 , 核型指数。

表 3 不同海拔香榧果实品质分析

Table 3 Analysis on the fruit quality of *T. grandis* 'Merrillii' at different altitudes

海拔/m	出核率/%	核含水率/%	含仁率/%	含油率/%	粗蛋白/%
300	33.06±0.27 ^b	36.56±0.12 ^b	68.40±0.01 ^a	54.29±0.37 ^a	13.91±0.06 ^a
600	32.38±0.15 ^b	36.93±0.26 ^b	65.05±0.21 ^{bc}	52.84±0.23 ^{bc}	14.35±0.98 ^a
800	36.26±0.86 ^a	39.90±0.20 ^a	65.65±0.38 ^b	53.49±0.14 ^b	13.37±1.07 ^a
1 000	34.78±0.44 ^{ab}	41.06±0.31 ^a	63.65±0.55 ^c	51.66±0.54 ^b	13.51±0.06 ^a

表 4 海拔高度与香榧果实品质相关性分析

Table 4 Correlation analysis of altitudes and *T. grandis* 'Merrillii' fruit quality

	H	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
H	1					
X_8	0.479	1				
X_9	0.881**	0.690**	1			
X_{10}	-0.852**	-0.069	-0.584*	1		
X_{11}	-0.780**	-0.055	-0.535*	0.935**	1	
X_{12}	-0.242	-0.623**	-0.222	-0.011	0.052	1

注: H , 海拔; X_8 , 出核率; X_9 , 核含水率; X_{10} , 含仁率; X_{11} , 含油率; X_{12} , 粗蛋白。

2.1.2 不同海拔香榧果实品质分析 比较不同海拔高度香榧果实品质, 结果(表 3)显示: 香榧果实出核率和核含水量表现为中高海拔区段(1 000 m、800 m)较中低海拔区段(600 m、300 m)高, 而含仁率和含油率则大体表现出中高海拔区段较中低海拔区段低的趋势; 各海拔区段香榧果实粗蛋白含量差异不显著。

以海拔(H)为因变量, 各香榧果实品质指标(X_8 — X_{12})为变量, 分析其间相关性, 结果(表 4)

显示, 海拔高度与核含水率呈极显著正相关, 相关系数达到 0.881, 与含仁率、含油率呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.852 和 -0.780, 与出核率和粗蛋白含量相关性不显著, 即监测范围内, 随着海拔的升高, 香榧种核的含水率显著增加, 含仁率和含油率则是显著下降, 而出核率和粗蛋白变化不显著。同时, 分析还显示香榧出核率与核含水率极显著正相关, 与粗蛋白极显著负相关; 含仁率与含油率极显著正相关。

表 5 不同海拔香榧油脂脂肪酸成分分析

Table 5 Analysis of fatty acid composition of *T. grandis* 'Merrillii' oils at different altitudes

海拔/m	棕榈酸/%	硬脂酸/%	油酸/%	亚油酸/%	亚麻酸/%	二十碳烯酸/%	二十碳二烯酸/%	二十碳三烯酸/%	其他/%
300	8.03±0.05 ^a	3.15±0.03 ^a	33.50±0.26 ^c	42.23±0.22 ^a	0.50±0 ^b	0.60±0 ^a	1.95±0.03 ^a	8.90±0.04 ^{ab}	1.15±0.03 ^b
600	7.50±0.04 ^b	3.20±0.04 ^a	36.40±0.32 ^b	39.70±0.38 ^b	0.50±0 ^b	0.60±0 ^a	2.00±0.04 ^a	8.80±0.04 ^{ab}	1.30±0.06 ^a
800	7.60±0.09 ^b	3.10±0.09 ^a	35.85±0.23 ^b	40.08±0.22 ^b	0.60±0 ^a	0.65±0.03 ^a	1.90±0.04 ^a	9.00±0.09 ^a	1.23±0.03 ^{ab}
1 000	7.45±0.06 ^b	2.78±0.05 ^b	38.50±0.04 ^a	38.40±0.04 ^c	0.50±0 ^b	0.60±0 ^a	1.75±0.03 ^b	8.70±0.09 ^b	1.33±0.03 ^a

表 6 海拔高度与香榧油脂脂肪酸成分相关性分析

Table 6 Correlation analysis between altitudes and fatty acid composition of *T. grandis* 'Merrillii' oil

H	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{21}	
H	1									
X_{13}	-0.720**	1								
X_{14}	-0.708**	0.500*	1							
X_{15}	0.885**	-0.851**	-0.657**	1						
X_{16}	-0.862**	0.867**	0.570*	-0.988**	1					
X_{17}	0.258	-0.100	0.131	-0.067	-0.010	1				
X_{18}	0.169	-0.290	-0.207	0.039	-0.105	0.655**	1			
X_{19}	-0.700**	0.155	0.520*	-0.563*	0.536*	0.016	0.169	1		
X_{20}	-0.270	0.112	0.224	-0.407	0.319	0.522*	0.684**	0.202	1	
X_{21}	0.538*	-0.701**	-0.362	0.743**	-0.775**	-0.154	0.021	-0.359	-0.242	1

注: X_{13} , 棕榈酸; X_{14} , 硬脂酸; X_{15} , 亚油酸; X_{16} , 油酸; X_{17} , 亚麻酸; X_{18} , 二十碳烯酸; X_{19} , 二十碳二烯酸; X_{20} , 二十碳三烯酸; X_{21} , 其他。

表 7 不同海拔香榧果实品质评价因子的特征值和方差贡献率

Table 7 The eigenvalues and variance contribution rate of the fruit quality evaluation factors of *T. grandis* 'Merrillii' at different altitudes

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	9.196	43.789	43.789
2	4.417	21.034	64.823
3	2.851	13.577	78.401
4	2.155	10.261	88.662

2.1.3 不同海拔香榧果实油脂脂肪酸成分分析 比较不同海拔香榧油脂脂肪酸成分, 结果(表 5)显示, 香榧果实脂肪酸成分主要集中在亚油酸、油酸、二十碳三烯酸、棕榈酸、硬脂酸和二十碳二烯酸。其中, 油酸含量大体呈现出随海拔升高而上升的趋势; 亚油酸、二十碳三烯酸、棕榈酸、硬脂酸和二十

碳二烯酸含量则大体呈现出随海拔升高而下降或变化不显著的趋势。

以海拔(H)为因变量, 各香榧果实品质指标(X_{13} — X_{21})为变量, 分析其间相关性, 结果(表 6)显示, 海拔高度与棕榈酸、硬脂酸、亚油酸、二十碳二烯酸含量呈极显著负相关, 相关系数分别为 -0.720、-0.708、-0.862 和 -0.700, 与油酸含量呈极显著正相关, 相关系数达到 0.885。而各油脂脂肪酸成分间, 棕榈酸含量与油酸含量极显著负相关, 而与亚油酸含量极显著正相关; 硬脂酸含量与油酸含量呈极显著负相关; 油酸含量与亚油酸含量极显著负相关; 亚麻酸含量与二十碳烯酸含量极显著正相关。

2.2 不同海拔香榧果实品质综合评价

将各香榧果实品质指标进行无量纲化处理, 并

表 8 主成分在不同性状上的因子载荷矩阵

Table 8 Factor loading matrix of principal components on different traits

性状指标	主成分			
	1	2	3	4
单果质量	0.355	-0.126	-0.610	0.659
果长	0.858	0.001	0.162	-0.067
果径	0.650	0.736	-0.082	0.137
单核质量	0.739	0.498	-0.240	0.257
核长	0.882	-0.047	0.390	-0.041
核径	0.658	0.715	-0.069	0.189
核型指数	0.083	-0.818	0.408	-0.259
出核率	0.377	0.659	0.400	-0.439
核含水量	0.848	0.299	0.247	-0.092
含仁率	-0.873	0.423	-0.004	0.093
含油率	-0.846	0.344	0.246	0.170
粗蛋白	-0.131	-0.643	-0.025	0.532
棕榈酸	-0.706	0.603	-0.246	-0.051
硬脂酸	-0.771	-0.056	0.249	-0.357
油酸	0.915	-0.360	-0.029	-0.080
亚油酸	-0.885	0.405	-0.072	0.063
亚麻酸	0.090	0.336	0.92	0.066
二十碳烯酸	0.074	-0.051	0.698	0.646
二十碳二烯酸	-0.753	-0.396	0.200	0.024
二十碳三烯酸	-0.309	0.069	0.530	0.665
其他	0.634	-0.508	-0.036	0.003

表 9 不同海拔香榧果实品质综合评价得分

Table 9 Comprehensive evaluation score of *T. grandis* 'Merrillii' fruit quality at different altitudes

性状指标	海拔高度/m			
	300	600	800	1 000
单果质量	0.035	-0.041	-0.111	0.116
果长	-0.496	-0.127	0.156	0.468
果径	-0.043	-0.708	0.207	0.544
单核质量	-0.098	-0.521	0.023	0.596
核长	-0.676	-0.104	0.333	0.447
核径	-0.042	-0.724	0.211	0.555
核型指数	0.142	-0.165	-0.017	0.040
出核率	-0.172	-0.282	0.347	0.107
核含水量	-0.516	-0.391	0.360	0.548
含仁率	-0.447	0.098	-0.039	0.388
含油率	-0.322	0.072	-0.120	0.370
粗蛋白	0.006	-0.120	0.055	0.059
棕榈酸	-0.364	0.137	0.042	0.185
硬脂酸	-0.186	-0.286	-0.087	0.559
油酸	-0.479	0.063	-0.04	0.456
亚油酸	-0.493	0.093	0.006	0.394
亚麻酸	-0.152	-0.152	0.457	-0.152
二十碳烯酸	-0.075	-0.075	0.226	-0.075
二十碳二烯酸	-0.187	-0.375	0	0.562
二十碳三烯酸	0.006	-0.006	0.019	-0.019
其他	-0.194	0.097	-0.049	0.146
总分	-4.755	-3.516	1.979	6.292

对其进行主成分分析,结果(表 7)显示分析提取到 4 个主成分,累计方差贡献率达 88.662%。其中,主成分 1 的方差贡献率最大,达 43.789%。同时,

计算得各主成分在不同性状指标上的因子载荷矩阵,结果(表 8)表明:主成分 1 较大载荷值性状指标为油酸、亚油酸、核长、含仁率、果长、核含水量、含油率等;主成分 2 较大载荷值性状指标为核型指数、核径、果径、出核率、粗蛋白、棕榈酸等;主成分 3 较大载荷值性状指标为亚麻酸、二十碳烯酸;而主成分 4 较大载荷值性状指标为二十碳三烯酸、单果质量和二十碳烯酸。

基于 4 个主成分,以其对应特征值占总特征值的比例为权重,建立不同海拔香榧果实品质综合评价模型,计算各海拔区段香榧果实品质综合评价得分: $F_{\text{综}} = 0.494 F_1 + 0.237 F_2 + 0.153 F_3 + 0.116 F_4$,计算结果如表 9 所示,不同海拔区段香榧果实品质综合得分为 1 000 m > 800 m > 600 m > 300 m,即在监测范围内(海拔 1 000 m 内),香榧果实品质随海拔升高而提高。

3 讨论与结论

不同栽培地区海拔高度常导致相应地区的日照、昼夜温差、有效积温及降雨量等生态条件发生变化,影响植物的光合作用^[16]、植物生长发育与主要内含物含量的变化^[17]。海拔高度影响香榧果实品质形成^[18],对果实外观形状影响差异显著^[19-21]。本研究结果显示,在外观上,海拔高度与香榧果长、果径、核长、核径、单核质量显著或极显著正相关,即随着海拔升高,香榧果实和果核变长变大。这与张翠仙等^[22]研究认为不同海拔对帕拉英达杧果果实品质影响显著,随着海拔升高平均单果质量、果皮质量、种子质量增加,果实纵径、果实横径、果实厚度等增大结果一致。而孙国超等^[23]研究认为黄果柑果实综合品质随海拔高度的改变有显著差异但无明显变化规律。这可能是海拔高度对不同果树种类影响各异的表现。

在营养品质上,海拔高度与核含水率显著正相关,但与含仁率、含油率显著负相关,即随着海拔升高,香榧核含水率显著增加,而含仁率和含油率均显著下降。油脂脂肪酸含量及成分组成是香榧重要的营养指标。本研究结果表明,随着海拔升高,油酸含量大体呈现上升的趋势,而亚油酸、二十碳三烯酸、棕榈酸、硬脂酸和二十碳二烯酸含量则大体呈现下降的趋势。随着海拔的升高,香榧脂肪酸成分中棕榈酸和硬脂酸两个主要的饱和脂肪酸含量呈显著下降趋势,而相对应的总不饱和脂肪酸总量则是显著增加,如海拔 1 000 m 处香榧不饱和脂肪酸达 89.77%,这与前人研究结果,即高海拔地区温

度低、温差大的栽培环境有利于油料作物中不饱和脂肪酸的积累和提高^[24-25]的结论相一致。油酸和亚油酸是香榧最重要的不饱和脂肪酸成分, 虽然两者含量随海拔呈现极显著负相关性, 且相关系数高达 -0.988, 但两者的含量总和随海拔升高大体呈现上升趋势, 这也与张乃燕等^[26]研究认为随着海拔的增加, 油酸含量增高, 亚油酸含量降低的结果一致。作者认为, 海拔高度对香榧果实品质的影响是多方面因素综合作用的结果, 各环境因子对果实品质指标的影响也各异, 环境因子与果实品质指标间的相关性和主导性研究可以更好指导香榧优质栽培, 须进一步深入开展。

不同海拔香榧果实综合品质的评价依赖于各品质指标的客观、综合反映。主成分分析法是果树果实品质综合评价常用方法之一^[27]。本研究采用主成分分析法对各海拔区段香榧果实品质进行分析评价, 从各品质指标中提取出 4 个主成分因子, 累计方差贡献率达 88.662%, 并以其对应特征值占总特征值的比例为权重, 计算各海拔区段香榧果实品质综合得分, 避免人为主观因素对评价的干扰, 更客观真实反映各处理对果实品质的综合影响。同时, 基于提取出的 4 个主成分因子, 分析其较大荷载值指标, 可筛选出较少的部分指标来较大程度代表所有性状指标。在实际生产中, 检测条件有限时, 可通过此方法筛选其中关键性指标进行检测, 提高该方法的实际可操作性。

综上所述, 海拔高度对多个香榧果实品质指标均有显著或极显著影响。随着海拔升高, 香榧的果实、种核显著增大, 但核型指数变化不显著; 核含水率显著上升, 含仁率显著下降, 含油率下降; 棕榈酸、硬脂酸两个主要的饱和脂肪酸含量显著下降, 油酸含量显著上升, 亚油酸含量显著下降, 总的不饱和脂肪酸含量呈上升趋势。综合各指标影响因素, 在特定海拔范围内 (300 ~ 1 000 m) 香榧果实综合品质高海拔区段最优。

参考文献:

- [1] 黎章矩, 戴文圣. 中国香榧[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [2] 孙小红, 周瑾, 胡绍泉, 等. 香榧籽的品质分级与综合评价[J]. 果树学报, 2018, 35(10): 1286-1296.
- [3] 胡文翠, 张迟, 厉锋, 等. 香榧良种‘朱岩榧’的选育[J]. 果树学报, 2021, 38(3): 455-458.
- [4] 黄其颖, 王飞高, 赵元军, 等. 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, 33(3): 33-38.
- [5] 张敏, 周彩虹, 陈焘, 等. 榧树转录组 SSR 信息分析及其分子标记开发[J]. 果树学报, 2017, 34(10): 1258-1265.
- [6] 刘萌萌, 曾燕如, 江建斌, 等. 香榧叶片中 8 种矿质元素年周期季节性变化规律[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 105-109.
- [7] 吴连海, 吴黎明, 倪荣新, 等. 香榧栽培经济效益分析[J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30(2): 299-303.
- [8] 丁园, 张宝林. 不同海拔高度下庐山茶园土壤性质及茶叶生化指标的变化[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(6): 959-962.
- [9] 谷晓楠, 贺红土, 陶岩, 等. 长白山土壤微生物群落结构及酶活性随海拔的分布特征与影响因子[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8374-8384.
- [10] 赵盼盼, 周嘉聪, 林开森, 等. 海拔梯度变化对中亚热带黄山松土壤微生物生物量和群落结构的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(6): 2215-2225.
- [11] GAO Z L, KARLSSON I, GEISEN S, et al. Protists: puppet Masters of the rhizosphere microbiome[J]. Trends Plant Sci, 2019, 24(2): 165-176.
- [12] 夏国华, 朱先富, 俞春莲, 等. 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.
- [13] 李俊南, 梁林波, 习学良, 等. 不同海拔下娘青核桃坚果性状及营养特征分析[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 44-49.
- [14] 孙小红, 周瑾, 胡春霞, 等. 不同海拔对香榧种子外观性状及营养品质的影响[J]. 果树学报, 2019, 36(4): 476-485.
- [15] 于美, 张川, 曾茂茂, 等. 香榧坚果中油脂和蛋白质的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 252-256.
- [16] 曾姜意, 朱强根, 刘慧, 等. 海拔和光温水对植物叶片生理影响研究进展[J]. 绿色科技, 2021, 23(18): 36-40.
- [17] SHI L K, MAO J H, ZHENG L, et al. Chemical characterization and free radical scavenging capacity of oils obtained from *Torreya grandis* Fort. ex. Lindl. and *Torreya grandis* Fort. var. Merrillii: a comparative study using chemometrics[J]. Ind Crops Prod, 2018, 115: 250-260.
- [18] ENDO Y, OSADA Y, KIMURA F, et al. Effects of Japanese *Torreya* (*Torreya nucifera*) seed oil on the activities and mRNA expression of lipid metabolism-related enzymes in rats[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2007, 71(1): 231-233.
- [19] 刘金凤, 陆斌, 苏为耿, 等. 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.
- [20] 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.
- [21] 张雨洁, 王斌, 李正才, 等. 施肥措施对古香榧林地土壤活性有机碳和养分的影响[J]. 林业科学研究, 2019, 32(2): 87-93.
- [22] 张翠仙, 陈于福, 尼章光, 等. 不同海拔对帕拉英达枹果光合特性及果实品质的影响[J]. 果树学报, 2021, 38(5): 749-759.
- [23] 孙国超, 曹淑燕, 李清南, 等. 不同海拔对黄果柑光合作用及果实品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2019(1): 48-51, 55.
- [24] 潘瑞焱. 植物生理学[M]. 7 版. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [25] 刘小亚, 李静, 温志刚, 等. 庐山和井冈山不同海拔高度野生油茶籽油及化学成分的比较[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 248-256.
- [26] 张乃燕, 黄开顺, 覃毓, 等. 主要地理气候因子对油茶籽油脂脂肪酸组成的影响[J]. 中国油脂, 2013, 38(11): 78-80.
- [27] 张淑文, 梁森苗, 郑锡良, 等. 杨梅优株果实品质的主成分分析及综合评价[J]. 果树学报, 2018, 35(8): 977-986.