

# 香榧籽的品质分级与综合评价

孙小红<sup>1</sup>, 周瑾<sup>1</sup>, 胡绍泉<sup>1</sup>, 吕洪飞<sup>2</sup>, 王国夫<sup>1\*</sup>

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

**摘要:**【目的】探讨香榧籽品质性状指标间的相互关系, 建立香榧籽品质综合评价标准及分级标准, 为香榧籽品质检测提供技术支撑。【方法】以绍兴会稽山古香榧群39份香榧样品为材料, 测定香榧籽品质的外观指标和营养指标中的长、宽、单粒质量、出仁率、种形指数、油脂、蛋白质、酸价、主要脂肪酸成分和微量元素等22项品质指标, 利用SPSS 19.0软件通过因子分析对香榧籽22项品质指标进行筛选, 利用概率分布和层次分析(AHP)分别进行品质评价指标的分级及指标权重的确定, 再通过K-均值聚类分析和判别分析建立香榧籽品质判别函数模型。【结果】香榧籽品质性状变异丰富, 变异系数为3.14%~111.75%。其中过氧化值的变异系数最大, 达到111.75%; 而出仁率的变异系数最小, 为3.14%; 种形指数的变异性也较小, 为3.57%, 油脂平均含量为58.02%。通过相关分析和因子分析, 从22项指标中筛选出长、宽、单粒质量、仁质量、种形指数、油脂含量、出仁率、蛋白含量和酸价9项指标作为香榧籽品质评价代表性指标; 综合考虑9项指标对香榧品质的影响程度, 构建层次结构模型, 优化出9项指标的权重系数分别为29.14%、21.44%、10.95%、14.99%、7.84%、5.79%、4.29%、3.20%和2.36%, 建立了主要品质指标的分级标准和评分标准, 得到香榧籽品质综合评价的3个判别函数, 建模样本和检验样本的判别正确率分别为100%和88.88%。【结论】香榧籽品质可用长、宽、单粒质量、仁质量、种形指数、油脂含量、出仁率、蛋白含量和酸价9项指标进行综合评价, 本研究为香榧籽品质综合评价标准与分级标准的建立提供了科学的依据。

**关键词:** 香榧; 品质; 因子分析; 层次分析; 聚类分析; 判别分析; 评价体系

中图分类号: S664.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2018)10-1286-11

## Quality-based grading system and integrated evaluation for *Torreya grandis* 'Merrilli'

SUN Xiaohong<sup>1</sup>, ZHOU Jin<sup>1</sup>, HU Shaoquan<sup>1</sup>, LÜ Hongfei<sup>2</sup>, WANG Guofu<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>Yuanpei College, Shaoxing University, Shaoxing 312000, Zhejiang, China; <sup>2</sup>College of Life Sciences, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China)

**Abstract:** 【Objective】The evaluation on nutritional quality is a significant procedure for *Torreya grandis* 'Merrilli' breeding and comprehensive utilization. In order to provide technical support for online non-destructive testing in terms to the quality of *Torreya grandis* 'Merrilli', the comprehensive evaluation and classification system were established for *T. grandis* 'Merrilli' quality. 【Methods】Thirty nine samples of *T. grandis* 'Merrilli' from Kuiji Mountain (Zhuji, Shaoxing and Shengzhou) were collected in September, 2016. Twenty two quality indexes (appearance and nutrition) including length, wide, shell thickness, seed weight, kernel weight, shape index with seed, kernel rate, fats, proteins, acid value, peroxide value, palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, eicosadienoic acid, eicosatrienoic acid, calcium, potassium, iron, zinc and selenium contents were measured with three replications. The quantitative index of 30 nuts per sample was determined by the conventional method. The method of continuous extraction was used for determination of fat content. The content of protein was assayed by Kjeldahl determination. The fatty acid composition was determined by Agilent 6890N/5975 MSD.

收稿日期: 2018-04-10 接受日期: 2018-06-03

基金项目: 绍兴市2014年科技计划项目(2014B70032); 浙江省公益项目(2014C32032)

作者简介: 孙小红, 女, 讲师, 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

The relative percentages of the oil constituents were quantified by calculating the relative contents based on the peak areas normalization method. The contents of 5 trace elements were determined by ICP-AES. The peroxide value and acid value of seed oil were determined according to GB/T 5009.37—2003. The role of factor analysis using SPSS 19.0 software was performed to filter primary indicators from 22 quality indicators of *T. grandis* ‘Merrilli’. The probability distribution and analytical hierarchy process (AHP) were used to determine indicators’ weights in *T. grandis* ‘Merrilli’ quality evaluation and grading. The K-means clustering and discriminant analysis were used to set up a discriminant model of *T. grandis* ‘Merrilli’ quality. 【Results】 There were differences and rich diversities in length, wide, shell thickness, seed weight, fat and protein contents, and so on. Twenty two quality indexes among the 39 samples showed a variable coefficient rate ranging from 3.14%–111.75%. The peroxide value had the largest variation coefficient of 111.75%. However, kernel rate had the smallest coefficient variation of 3.14%. The coefficient variation of shape index with seed was also small. The average content of oil was 58.02% with small variation. There was a certain correlation among *T. grandis* ‘Merrilli’ quality evaluation factors. The length showed very positively significant correlation to wide, seed weight and kernel weight ( $p < 0.01$ ), respectively. There was a significant positive correlation between length and protein content ( $p < 0.05$ ). Eight principal factors were extracted from the 22 nutritional factors, which were contributed to 19.203%, 14.357%, 10.798%, 8.935%, 8.311%, 7.26%, 5.356% and 6.146%, respectively, with a cumulative percentage of 78.886%. While the length, wide, seed weight, kernel weight, protein and acid value could decide the first principal factor, the eicosatrienoic acid, oleic acid and stearic acid could determine the second principal factor; the third principal factor was decided by palmitic acid, eicosadienoic acid and calcium contents, and the selenium, zinc and iron contents decided the fourth principal factor. Seed shape index depended on the fifth principal factor. The linoleic acid content decided the sixth principal factor. The kernel rate decided the seventh principal factor. The protein content decided the eighth principal factor. As for the quality evaluation factors in *T. grandis* ‘Merrilli’, the most important value was seed weight (absolute maximum rating). The second was kernel weight and shape index with seed. Nine typical indices including length, wide, seed weight, kernel weight, seed shape index, oil, kernel rate, protein and acid value were screened from 22 *T. grandis* ‘Merrilli’ quality indices by correlation analysis and factor analysis. An analytical hierarchy model was proposed based on the effect of nine indices on *T. grandis* ‘Merrilli’ quality, with weight coefficients of these factors being 29.14%, 21.44%, 10.95%, 14.99%, 7.84%, 5.79%, 4.29%, 3.20% and 2.36%, respectively. In the experiment, a standard of classification and evaluation was built, and three functions were applied to determine the quality of *T. grandis* ‘Merrilli’. And the accuracy of the functions could reach up to 100% (modeling samples) and 88.88% (test samples), respectively. 【Conclusion】 The quality of *T. grandis* ‘Merrilli’ could be evaluated by length, wide, seed weight, kernel weight, seed shape index, oil, kernel rate, protein and acid value. The significance of the study is to provide a scientific basis for establishing a standard of comprehensive assessment and grading system for evaluating *T. grandis* ‘Merrilli’ quality. **Key words:** *Torreya grandis* ‘Merrilli’; Quality; Factor analysis; AHP; Cluster analysis; Discriminant analysis; Evaluation system

香榧(*Torreya grandis* ‘Merrilli’), 又被称为中国榧、细榧等, 为红豆杉科榧属常绿植物。2 000多年前, 绍兴先民采用人工嫁接野生香榧树, 从而培育成口感较好的香榧优良品种, 是中国特有的珍贵坚

果树种<sup>[1]</sup>。香榧食用部分为种仁, 同时香榧树还具有药用、绿化、材用等功能。其种子炒熟后, 有独特风味, 香酥甘醇, 营养丰富, 被认为是珍品干果, 价格一直居高不下<sup>[2-4]</sup>。2013年, 联合国粮农组织认定浙

江绍兴会稽山古香榧群为全球重要农业文化遗产,主要由诸暨赵家镇、嵊州谷来和绍兴县稽东3个地方的古香榧林组成,拥有72 000余株树龄都在百年以上古香榧树<sup>[5]</sup>。香榧价格一直很高,因此很多地方出现了陈年香榧、以次充好、发育不成熟香榧等不良情况<sup>[6-7]</sup>,从而影响古香榧声誉。

近几年,对香榧的研究逐渐增加,但有关香榧的研究,多集中在香榧种质资源调查<sup>[8]</sup>、生态特性<sup>[9]</sup>、品种鉴定<sup>[10]</sup>、栽培<sup>[11]</sup>以及病虫害防治等方面。如沈登峰等<sup>[12]</sup>收集了实生榧树种子110个,并测定了带假种皮的种蒲以及种子各项物理性状、各种榧树种子油脂和蛋白含量,分析了种子物理性状及营养指标的相关性,结果表明,各榧树种质种子物理性状上存在着较大的差异,且在化学成分上也存在差异。目前中华人民共和国林业行业标准(LY/T 1773—2008)只是对炒熟后香榧籽的形状、色泽、部分理化指标作了一些说明,并未做出综合评价和分级标准。国内外对香榧籽质量的研究集中于形态描述和某一品质方面,如油脂、蛋白含量,但研究不深入、不系统。坚果质量性状的评价指标很多,常规的坚果质量评价方法一般采用行内专家根据描述对每个质量性状进行打分,这种方法容易操作,但主观性强,标准不统一,导致评价结果不够客观合理。而单纯根据单个或几个指标评价也会使评价结果不完全,因此,有必要进行多个指标性状综合分析<sup>[13-15]</sup>。研

究香榧籽质量综合评价指标,同时构建香榧籽(生香榧)评价质量技术体系,从而建立综合评价指标体系及评分标准,对研究香榧籽质量具有重大的意义。

笔者以绍兴会稽山古香榧群香榧籽为材料。从香榧籽的外观指标和营养指标中挑选22项质量指标进行分析,利用SPSS 19.0软件通过因子分析对香榧外观及营养品质指标进行筛选,利用概率分布和层次分析方法分别进行品质评价指标的分级并确定指标权重,再通过K-均值聚类分析和判别分析建立香榧籽质量判别函数模型。构建香榧籽质量的综合评价及分级体系,为香榧质量的综合评价与分级提供技术支撑,从而进一步提高绍兴香榧产业的综合竞争力,也为香榧籽质量的综合评判与分级体系的软件开发提供了科学依据,促使香榧质量有统一硬性标准。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

依据已认定的浙江绍兴会稽山古香榧群(*Torreya grandis* ‘Merrilli’)主产区作为采集地点,收集诸暨市、嵊州市和绍兴柯桥区稽东镇等地26个村39份香榧样品,香榧品种全部为细榧,香榧产地分布情况见表1。采集标准是:确定样地,每个样地选取古香榧树30~40株,在每株树冠的中上部随机采20个充分成熟的带假种皮的香榧种子。试验所

表1 香榧生产基地分布状况

Table 1 Production base of *T. grandis* ‘Merrilli’

县(区)County	乡(镇)Town	村 Village
诸暨市 Zhuji	赵家镇 Zhaojia	榧王村、宣家山村、东溪村、相泉村 Feiwang, Xuanjiashan, Dongxi, Xiangquan
	东白湖镇 Dongbaihu	里四村、斯宅村、上家湖村、新上泉村、西丁村 Lisi, Sizhai, Shangjiahu, Xinshangquan, Xiding
嵊州市 Shengzhou	谷来镇 Gulai	袁郭岭村、榆树村、吕岙村、双溪村 Yuanguoling, Yushu, Lüao, Shuangxi
	长乐镇 Changle	小昆村、蓬瑯村、大昆村 Xiaokun, Pengliu, Dakun
	竹溪乡 Zhuxi	盛家坞村、竹溪村 Shengjiawu, Zhuxi
	通源乡 Tongyuan	白雁坑村、松明培村 Baiyankeng, Songmingpei
柯桥区 Keqiao	稽东镇 Jidong	占岙村、陈村、龙西村、新上王村、双坞村、官桥村 Zhanao, Chencun, Longxi, Xinshangwang, Shuangwu, Guanqiao
总计 Total	7	26

用样品放于通风、干燥处,腐熟后剥去假种皮,在这过程中要经常翻动,使种子干燥均匀,当种子的含水量低于8%时放于密闭、干燥处保存备用,保存温度为0~4℃。

### 1.2 仪器与设备

SX2-4-10 马弗炉(河南宏炉仪器设备有限公司),KDN-BI 定氮仪(上海新嘉电子有限公司),

KDN-08C 数显温控消化炉(上海新嘉电子有限公司),ICP-AES(美国利曼公司),6890N/5975MSD 气质联用仪(美国安捷伦公司)。

### 1.3 方法

每个样品取30个坚果,测定其数量指标:用游标卡尺测定香榧籽长度、直径、壳厚和质量,计算种形指数(种形指数=长度/直径)。单果质量采用电子

分析天平测定。将每份香榧样品干燥至恒质量,去壳。内在营养指标测定前将种仁粉碎。采用连续提取法测定种子含油量;采用凯氏定氮法测定蛋白质含量。参照文献<sup>[16-17]</sup>将待测样品进行甲脂化后采用Agilent 6890N/5975MSD气-质联用仪测定脂肪酸组分。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<sup>-1</sup>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<sup>-1</sup>;分流比为50:1。定量方法采用面积归一化法,即单个脂肪酸的含量是其峰面积占色谱图上的总峰面积的百分比。采用GB/T5009.37—2003规定方法测定种子油脂过氧化值。采用GB/T5009.37—2003规定方法测定油脂酸价。采用ICP-

AES(电感耦合等离子体发射光谱仪)测定种子微量元素含量<sup>[18]</sup>。每个样品3个重复。

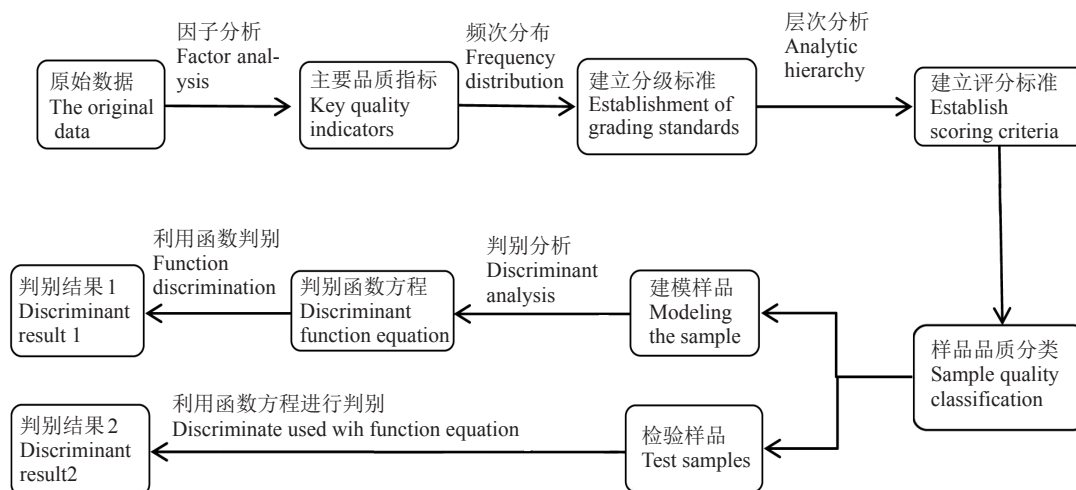
长、宽参照曾松伟等<sup>[19-20]</sup>的分级方法,长主要分布在26~30 mm,宽主要分布在12.5~14.5 mm。香榧品质指标贡献及其重要程度,采用1~9标度法<sup>[21-22]</sup>,通过构造判断矩阵,计算权重及一致性检验;样品聚类分析采用K-均值聚类分析<sup>[23-24]</sup>,先随机选取K个对象作为初始的聚类中心。然后计算每个对象与各个种子聚类中心之间的距离,把每个对象分配给距离它最近的聚类中心。

1.4 香榧品质综合评价构建流程图

香榧品质综合评价构建流程如图1所示。

1.5 数据处理

数据分析主要用软件SPSS 19.0和Excel 2013,



图中带箭头直线上文字为数据处理方式。

The text on the arrow line is the data processing mode.

图1 香榧品质综合评价构建流程图

Fig. 1 Flow diagram of *T. grandis* 'Merrilli' qualitative evaluation

利用Excel 2013进行数据基本处理,因子分析、相关性分析、层次分析、聚类分析和函数判别分析等统计分析采用SPSS 19.0数据处理系统进行。

2 结果与分析

2.1 香榧品质水平分析

从表2可以看出,样本香榧籽部分质量性状的差异较大,特别是脂肪酸成分组成差异较大。其中,过氧化值的变异系数最大,达到111.75%,变异幅度为0.13~3.47 meq·kg<sup>-1</sup>;其次是Se、Zn和二十碳三烯

酸含量,其变异系数分别为95.01%、76.96%、69.65%;油脂含量最小为39.33%,最大为76.83%,变异系数14.79%,平均油脂含量为58.02%,符合标准。所有香榧籽蛋白质含量都较高。变异系数最小的为出仁率(3.14%);种形指数的变异性也较小(3.57%)。长和宽的变异系数也较小。

香榧品质指标间相关性分析见表3。从表3可以看出长和种子宽、单粒质量、仁质量呈显著正相关( $p < 0.05$ ),长与蛋白含量、种形指数呈显著正相关( $p < 0.05$ ),宽和单粒质量、仁质量、种形指数都呈



表 2 香榧品质指标变异情况

Table 2 Variation of *T. grandis* 'Merrilli' quality indices

序号 No.	性状 Traits	极小值 Min. value	极大值 Max. value	均值 Mean value	标准差 $\sigma$	变异系数 CV/%
1	长 Seed length/cm	2.67	3.05	2.86	0.10	3.43
2	宽 Seed diameter/cm	1.21	1.43	1.32	0.05	3.81
3	壁厚 Shell thickness/mm	0.71	1.21	0.88	0.12	14.07
4	单粒质量 Seed weight/g	1.41	2.11	1.84	0.16	8.75
5	仁质量 Kernel weight/g	1.04	1.48	1.26	0.11	8.58
6	种形指数 Shape index with seed	2.01	2.35	2.17	0.08	3.57
7	出仁率 Kernel rate/%	65.25	75.74	69.02	2.17	3.14
8	w(油脂)Fats content/%	39.33	76.83	58.02	8.58	14.79
9	w(蛋白)Proteins content/%	9.16	13.38	11.96	1.16	9.71
10	酸价 Acid value/(mg·g <sup>-1</sup> )	0.28	0.95	0.62	0.25	39.57
11	过氧化值 Peroxide values/(meq·kg <sup>-1</sup> )	0.13	3.47	0.72	0.80	111.75
12	w(棕榈酸)Palmitic acid content/%	0.00	16.10	6.55	3.77	57.47
13	w(硬脂酸)Stearic acid content/%	2.09	11.94	5.83	2.30	39.39
14	w(油酸)Oleic acid content/%	23.47	44.45	35.47	5.96	16.81
15	w(亚油酸)Linoleic acid content/%	28.31	65.38	42.84	6.02	14.06
16	w(二十碳二烯酸)Eicosadienoic acid content/%	0.00	9.90	4.91	3.11	63.31
17	w(二十碳三烯酸)Eicosatrienoic acid content/%	0.00	3.75	1.72	1.20	69.65
18	w(钙)Calcium content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	697.31	2 625.50	1 958.12	458.58	23.42
19	w(钾)Potassium content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	5 492.67	11 088.50	7 334.35	1 329.84	18.13
20	w(铁)Iron content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	21.48	194.75	45.06	29.25	64.91
21	w(锌)Zinc content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	13.74	336.51	73.11	56.27	76.96
22	w(硒)Selenium content/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.00	16.83	4.45	4.23	95.01

极显著正相关( $p < 0.01$ ),与蛋白含量显著相关。表明香榧种子外观与蛋白含量密切相关。而长、宽、单粒质量和仁质量都与酸价呈显著负相关( $p < 0.05$ )。油脂和酸价呈显著正相关。蛋白含量与酸价呈极显著负相关。说明外观以及油脂和蛋白含量对酸价有影响。硬脂酸和油酸、亚油酸以及二十碳三烯酸含量之间也是呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。总体而言,香榧质量评价各因子之间都存在一定相关性,有必要建立一种科学的综合性评价方法。

## 2.2 香榧品质评价指标的确定

为确定香榧籽的主要品质指标,采用因子分析法对样品香榧22项质量指标进行分析。因子分析结果(表4)表明,前8个主成分因子方差的贡献率为78.886%,包括了22项香榧品质指标的主要信息,为主因子。长、宽、单粒质量、仁质量、蛋白含量和酸价为第1因子,代表品质指标,可认为是外观指标及主要营养指标,方差贡献率为19.203%;二十碳三烯酸含量、油酸含量和硬脂酸含量为第2因子代表性指标,可定义为营养指标,方差贡献率为14.357%;棕榈酸含量、钙含量和二十碳二烯酸含量等为第3因

子代表性指标,也可将其定为营养指标,方差贡献率为10.798%;硒含量、锌含量和铁含量为第4因子代表性指标,可定为微量元素指标,方差贡献率为8.935%;种形指数为第5因子代表性指标,可将其定为外观指标,方差贡献率为8.311%;亚油酸含量为第6因子代表性指标,可定成营养指标,方差贡献率为7.226%;出仁率为第7因子代表性指标,可定成外观指标,方差贡献率为5.356%。蛋白含量为第8因子代表性指标,可定义为营养指标,方差贡献率为4.700%。单粒质量因子权重最大(以绝对值论,下同),其次为仁质量和种形指数。22项因子可以分为营养因子、外观因子和微量元素因子三大类。曾松伟等<sup>[9]</sup>研究发现,外形尺寸中香榧长以及宽与其质量之间的相关性较高。因此,香榧籽分级方法可以根据长宽来分级。参照《香榧籽质量要求》(LY/T1773—2008),以及结合测定难易程度,最后确定长、宽、单粒质量、仁质量、种形指数、油脂含量、出仁率、蛋白含量、酸价9个指标为香榧籽品质评价指标。

## 2.3 香榧品质评价指标分级标准的建立

参照《香榧籽质量要求》(LY/T1773—2008),基



表4 香榧22项指标因子分析  
Table 4 Factor analysis of 22 indices for *T. grandis* 'Merrilli' quality

性状 Traits	因子权重 Component weight							
	因子1 Component 1	因子2 Component 2	因子3 Component 3	因子4 Component 4	因子5 Component 5	因子6 Component 6	因子7 Component 7	因子8 Component 8
长 Seed length	0.789	0.257	0.157	0.030	0.389	0.162	0.127	0.000
宽 Seed diameter	0.793	0.249	-0.216	-0.092	-0.427	0.065	-0.090	-0.043
壁厚 Shell thickness	0.061	-0.020	-0.465	0.474	0.399	-0.349	0.231	-0.180
单粒质量 Seed weight	0.871	0.340	-0.073	0.044	0.107	0.076	-0.138	-0.111
仁质量 Kernel weight	0.844	0.440	-0.063	-0.080	0.069	0.139	0.067	-0.041
种形指数 Shape index with seed	-0.114	0.032	0.367	0.174	0.803	0.095	0.219	0.059
出仁率 Kernel rate	-0.126	0.230	0.056	-0.459	-0.143	0.250	0.690	0.235
油脂含量 Fats content	-0.188	0.444	0.241	-0.236	0.231	0.274	-0.358	0.316
蛋白含量 Proteins content	0.588	-0.103	0.331	-0.022	-0.174	-0.286	-0.052	0.490
酸价 Acid value	-0.657	0.293	-0.160	-0.032	0.247	0.417	-0.195	-0.174
过氧化值 Peroxide values	0.373	-0.421	0.125	0.462	-0.142	0.101	-0.052	0.038
棕榈酸含量 Palmitic acid content	-0.092	-0.335	-0.734	-0.062	-0.199	0.307	0.056	0.094
硬脂酸含量 Stearic acid content	0.139	-0.746	-0.002	0.051	0.181	0.428	0.092	0.260
油酸含量 Oleic acid content	-0.129	0.688	0.415	0.173	-0.201	0.191	0.165	-0.283
亚油酸含量 Linoleic acid content	-0.156	0.360	-0.272	-0.163	0.345	-0.699	-0.119	0.175
二十碳二烯酸含量 Eicosadienoic acid content	0.154	-0.373	0.684	-0.121	0.060	0.044	-0.234	-0.319
二十碳三烯酸含量 Eicosatrienoic acid content	0.300	-0.781	0.177	0.005	0.142	0.104	-0.012	-0.167
钙含量 Calcium content	-0.331	-0.071	0.506	0.241	-0.211	-0.259	0.349	0.119
钾含量 Potassium content	0.288	0.072	-0.345	0.443	0.113	0.170	0.251	-0.065
铁含量 Iron content	-0.025	0.186	-0.043	0.508	0.136	0.266	-0.227	0.467
锌含量 Zinc content	-0.074	0.338	0.263	0.557	-0.283	0.050	0.075	0.044
硒含量 Selenium content	-0.370	0.125	-0.029	0.558	-0.278	0.125	-0.177	0.024
特征值 Eigen value	4.225	3.158	2.376	1.966	1.829	1.590	1.178	1.034
方差贡献率 Percent of variance/%	19.203	14.357	10.798	8.935	8.311	7.226	5.356	4.700

于9个品质指标的概率分布将香榧每个品质指标均分为3个等级。长、宽参照曾松伟等<sup>[19-20]</sup>的分级方法,单粒质量、仁质量、油脂含量、种形指数、蛋白含量、酸价参照《香榧籽质量要求》(LY/T1773—2008)。出仁率基于各自的概率分布。采用Kolmogorov-Smirnov检验,统计量大于0.05说明其呈正态分布<sup>[25-26]</sup>,本试验用SPSS的频次分布将样本香榧划分为3级,分为特级、一级和二级。样本香榧9项品质评价指标的分级标准及样品分布见表5,从表5可以看出,香榧籽9项质量指标都显示正态分布。根据香榧籽样品分布情况,大部分样品的长、宽、仁质量、种形指数和出仁率含量都属于一级,分别为89.76%、84.62%、79.49%、64.1%和74.36%;单粒质量和油脂含量以特级为主,为56.41%和53.85%。

## 2.4 香榧品质综合评价指标评分标准的建立

根据样本香榧籽的9项品质指标贡献及其重要程度,构造出香榧品质指标的判断矩阵(表6)。判断矩阵的CR值为0.0461,小于标准0.10,说明通过本方法建立的判断矩阵中各因素的相互关系比较一致,得到单粒质量、仁质量、长、宽、种形指数、出仁率、蛋白含量、酸价、油脂含量9项指标的权重分别为29.14%、21.44%、10.95%、14.99%、7.84%、5.79%、4.29%、3.20%和2.36%,接受层次分析最终排序结果。单粒质量、仁质量、长、宽和种形指数这几个外观因子权重总共为84.36%,可见,单粒质量、仁质量、长、宽和种形指数对香榧坚果综合品质贡献最大,其次是出仁率和蛋白含量,油脂含量和酸价对香榧品质的影响相对较小。

最后将由层次分析确定的指标权重乘以100,

表 5 香榧 9 项品质评价指标的分级标准  
Table 5 Grading of 9 evaluation indices for *T. grandis* 'Merrilli' quality

性状 Traits	等级 Grade	二级 Second grade	一级 First grade	特级 Special grade	统计量 Statistic
长 Seed length/cm	标准 Standard	≤ 2.70	2.71~2.99	≥ 3.00	0.647
	分布 distribution/%	5.12	89.76	5.12	
宽 Seed diameter/cm	标准 Standard	≤ 1.25	1.26~1.39	≥ 1.40	0.851
	分布 Distribution/%	10.26	84.62	5.12	
单粒质量 Seed weight/g	标准 Standard	≤ 1.45	1.46~1.79	≥ 1.80	0.843
	分布 Distribution/%	5.12	30.77	56.41	
仁质量 Kernel weight/g	标准 Standard	≤ 1.10	1.10~1.49	≥ 1.40	0.655
	分布 Distribution/%	12.82	79.49	7.69	
种形指数 Shape index with seed	标准 Standard	≤ 2.10	2.11~2.19	≥ 2.20	0.922
	分布 Distribution/%	17.95	64.10	35.90	
出仁率 Kernel rate/%	标准 Standard	≤ 66.00	66.01~69.99	≥ 70.00	0.184
	分布 Distribution/%	2.56	74.36	23.08	
w(油脂)Fats content/%	标准 Standard	≤ 52.00	52.01~59.99	≥ 60.00	0.379
	分布 Distribution/%	0	46.15	53.85	
w(蛋白)Proteins content/%	标准 Standard	≤ 12.00	12.01~12.99	≥ 13.00	0.080
	分布 Distribution/%	48.72	38.46	12.82	
酸价 Acid value/(mg·g <sup>-1</sup> )	标准 Standard	≥ 3.00	0.51~2.99	≤ 0.50	0.059
	分布 Distribution/%	0	66.67	33.33	

注:表中统计量大于 0.05 服从正态分布。

Note: The statistic is greater than 0.05 in the table, which can all be considered to obey normal distribution.

表 6 香榧品质评价指标层次结构的判别一致性  
Table 6 Discriminant matrix and its consistency for *T. grandis* 'Merrilli' quality

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	各指标权重 The weight of each index/%
A1	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	2.36
A2	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	3.20
A3	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	4.29
A4	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	5.79
A5	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	7.84
A6	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	10.95
A7	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	14.99
A8	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	21.44
A9	9	8	7	6	5	4	3	2	1	29.14

CR=0.046 1

注: A1. 油脂含量; A2. 酸价; A3. 蛋白含量; A4. 出仁率; A5. 种形指数; A6. 长; A7. 宽; A8. 仁质量; A9. 单粒质量。

Note: A1. Fats content; A2. Acid value; A3. Proteins content; A4. Kernel rate; A5. Shape index with seed; A6. Seed length; A7. Seed diameter; A8. Kernel weight; A9. Seed weight.

所得数值保留两位小数,作为这一项质量指标的数值,9 项质量指标满分值总共为 100 分。采用该品质指标满分值的 1/3,也就是 33.33%为级差,确定各级的得分。正向指标,包括单粒质量、仁质量、长、宽、种形指数、蛋白含量、油脂含量、出仁率等,全部按照最大等级为 100 分,也即满分,各等级得分逐级减少。因为酸价是越低越好,为负项指标,级依次递增。各指标的评分标准见表 7。

### 2.5 香榧品质判别函数的建立

每个样品的综合得分为通过香榧各质量评价指标的权重乘以各质量评价指标等级得分,再将数据

进行标准化,最后得到的数值。本试验的 39 个样品用 K-均值聚类分析,根据综合得分分成 3 大类(表 8),其品质依次分为二级、一级和特级。从 3 大类香榧样品中分别取 2/3 的样品用于建立判别函数,剩下样品用于检验判别函数的判别准确性,经多类判别分析<sup>[22]</sup>得到 3 个判别函数:

$$y_1 = -15.089179x_1 + 39.506323x_2 + 3.828078x_3 - 7.257051x_4 + 22.968850x_5 + 102.137x_6 + 3.575x_7 - 8.259x_8 - 37.738x_9$$

$$y_2 = -15.093345x_1 + 39.402815x_2 + 3.854558x_3 - 7.307262x_4 + 22.897706x_5 + 103.073x_6 + 3.613x_7$$



表 7 香榧 9 项品质评价指标的评分标准  
Table 7 Score of 9 evaluation indices for *T. grandis* 'Merrilli' quality

指标 Index	指标值 Index value	得分 Score	指标值 Index value	得分 Score	指标值 Index value	得分 Score
长 Seed length/cm	≤ 2.70	3.70	2.71~2.99	7.41	≥ 3.00	11.11
宽 Seed diameter/cm	≤ 1.25	5.03	1.26~1.39	10.06	≥ 1.40	15.10
单粒质量 Seed weight/g	≤ 1.45	9.75	1.46~1.79	19.50	≥ 1.80	29.25
仁质量 Kernel weight/g	≤ 1.10	7.22	1.10~1.49	14.43	≥ 1.40	21.65
种形指数 Shape index with seed	≤ 2.10	2.65	2.11~2.19	5.30	≥ 2.20	7.95
出仁率 Kernel rate/%	≤ 66.00	1.97	66.01~69.99	3.93	≥ 70.00	5.90
w(油脂)Fats content/%	≤ 52.00	0.81	52.01~59.99	1.61	≥ 60.00	2.42
w(蛋白)Proteins content/%	≤ 12.00	1.47	12.01~12.99	2.93	≥ 13.00	4.40
酸价 Acid value/(mg·g <sup>-1</sup> )	≥ 3.00	1.07	0.51~2.99	2.14	≤ 0.50	3.21

表 8 香榧等级 K-均值聚类及判别分析结果  
Table 8 Results of K-average cluster and discriminant analysis of *T. grandis* 'Merrilli'

	二级 Second grade	一级 First grade	特级 Special grade
K-均值聚类案例数 K-average cluster case number	17	8	14
校正判别准确数 Accurate number of correction of discriminant	11	5	9
校正判别正确率 Accuracy of correction of discriminant	100%	100%	88.88%
预测判别准确数 Accurate number of predict discriminant	6	3	5
预测判别正确率 Accuracy of predict discriminant	100%	100%	88.88%

$$-8.629x_8 - 51.976x_9$$

$$y_3 = -15.102643x_1 + 39.458584x_2 + 3.951220x_3$$

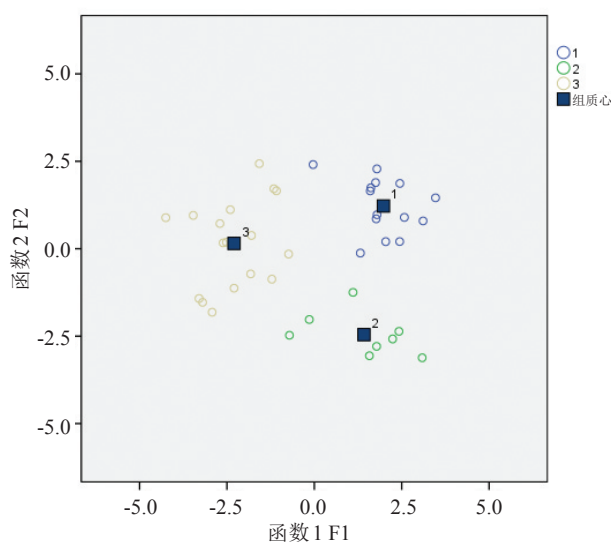
$$-7.404268x_4 + 22.895615x_5 + 104.730x_6 + 3.494x_7$$

$$-7.524x_8 - 64.828x_9$$

式中,  $x_1 \sim x_9$  分别代表长、宽、单粒质量、仁质量、种形指数、出仁率、油脂含量、蛋白含量、酸价 9 项香榧品质评价指标的得分。3 个公式的  $y$  值为香榧籽 9 个主要质量指标得分, 其得分是根据表 7 确定, 然后分别代入判别函数, 最后得到一个综合数值。在对香榧籽质量进行判别时, 将 9 项指标的得分分别代入上面 3 个函数, 计算函数值, 其中哪个函数值最大, 则其质量就属于那一类。经验证, 建模样本和检验样本的判别正确率分别达 100% 和 88.88%。采用横坐标为各级样品第一特征向量的分值(F1)、纵坐标为第二特征向量的分值(F2), 做 39 份香榧样品散点图(图 2)。从图 2 可知, 所建立的判别函数能够将 3 种品质的香榧区分开, 效果明显。

### 3 讨 论

李扬等<sup>[26]</sup>通过调查 3 个地区野生香榧种子形态指标, 并对各指标间相关性进行分析, 发现野生香榧在不同产地间性状差异不大(只有种子质量和出仁率表现出显著性差异), 其中变异幅度最大的是单粒质量(CV=26.33%)。闵会等<sup>[27]</sup>以香榧主要分布区 6 个天然群体的 92 个样株为试验材料, 对种群果实、种子和叶等多个表型性状进行分析, 讨论香榧群体



1. 特级; 2. 一级; 3. 二级。  
1. Special grade; 2. First grade; 3. Secondary grade.

图 2 香榧样品不同品质判别函数的散点图

Fig. 2 Scatter plot of *T. grandis* 'Merrilli' samples with different qualities on two discriminant functions

内以及群体间的性状多样性, 结果表明, 在群体间和群体内香榧各外观性状都存在显著差异, 其中种蒲宽平均变异系数最小。但他们都未结合香榧籽营养指标。本研究选用的 39 份香榧样品均为细榧, 主要产于绍兴古香榧群地区(诸暨、绍兴柯桥、嵊州), 从测定的 22 项指标看(外观及营养指标), 其变异系数为 3.14%~111.75%, 反映出材料间差异较大, 虽然都为细榧, 但是样品产地不同、所处环境条件和管理水平有差异。

香榧籽品质的指标主要包括长、宽、单粒质量、仁质量、种形指数、出仁率等外观指标以及油脂含量、蛋白含量、酸价等营养品质指标。在SPSS软件进行因子分析时,为消除单位和数量级带来的偏差,对数据统一进行了标准化。因子分析方法可将许多变量整合成少数几个“因子”,用于研究相关数据的内部关系,同时仍可体现原初变量与“因子”之间的相关性,对数据降维有一定作用。本试验采用因子分析,将22项香榧籽品质指标归纳为3类因子,分别为营养因子、外观因子和微量元素因子。在同类因子指标中,结合各因子指标间的相关性、测定难易程度以及目前市场上对香榧品质要求,筛选出9项指标(长、宽、单粒质量、仁质量、种形指数、油脂含量、出仁率、蛋白含量、酸价)为香榧籽品质评价的代表性指标,单粒质量、仁质量、长、宽和种形指数这几个外观因子权重总共为84.36%,这些指标皆为未加工香榧,可指导人们生产。本试验筛选出的指标不同于《香榧籽质量要求》(LY/T1773—2008),将种形指数以及酸价也计入重要指标。

指标评价的基础是分级。本试验采用层次分析,确定了香榧籽质量评价指标的权重,并用9项指标对香榧籽质量的影响程度进行量化。最后通过判别分析和K-均值聚类对主要品质评价指标进行分级,建立了3个判别函数来对香榧籽品质进行评价,可以确定香榧等级,为香榧籽品质规范化评价奠定了基础,将过去人们经验型的香榧籽品质评定向定量化转变,从而克服了人为主观因素造成香榧籽评价差异。但需要说明的是,层次分析很大程度上依赖于人们的经验,特别是在构建判别矩阵时不能带有主观性,不然会使结果的可信度下降<sup>[28]</sup>。

本研究对绍兴古香榧群所有栽培区的香榧籽质量指标进行了测定,通过因子分析确定了香榧籽主要的品质指标,并进行分级。不仅为香榧籽品质的准确评价提供了科学依据,也为今后制定香榧籽综合评价标准奠定了基础。今后可在香榧加工之前,依据不同消费需求,制定香榧籽对应评价和分级标准,完善香榧籽综合质量评价及分级标准。

## 4 结 论

目前针对香榧籽综合质量评价方法及分级标准我国还没有建立全面完整的系统,从而使我国香榧籽质量评价和分级体系不健全。本文研究结果证

明,绍兴香榧可用长、宽、单粒质量、仁质量、种形指数、出仁率、油脂含量、蛋白含量、酸价9项指标进行品质评价。本试验建立的香榧籽品质评价评分标准和指标分级标准,可为香榧籽综合质量评估提供科学依据。建立的香榧籽综合品质判别函数判别准确性较高,可用于香榧综合质量定量判别,为香榧加工企业进一步建立香榧综合质量在线检测奠定了基础。

## 参考文献 References:

- [1] 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.
- [2] 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): 252-256.  
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): 252-256.
- [3] 徐超,王鸿飞,邵兴锋,俞雯雯. 香榧子油抗氧化活性及降血脂功能研究[J]. *中国粮油学报*, 2012, 27(8): 43-47.  
XU Chao, WANG Hongfei, SHAO Xingfeng, YU Wenwen. Study on antioxidant activity and reducing blood fat function of Kaga oil[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(8): 43-47.
- [4] 陈振德,陈志良,侯连兵,许重远,郑汉臣. 香榧子油对实验性动脉粥样硬化形成的影响[J]. *中药材*, 2000, 23(9): 551-553.  
CHEN Zhende, CHEN Zhiliang, HOU Lianbing, XU Zhongyuan, ZHENG Hanchen. The preventive effect of the oil from the seed of *Torreya grandis* cv. Merrilli on experimental atherosclerosis in rats[J]. *Chinese Medicinal Materials*, 2000, 23(9): 551-553.
- [5] 王斌,闵庆文,杜波,白艳莹,袁正,徐远涛. 会稽山古香榧群农业文化遗产生态服务价值评价[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(6): 779-785.  
WANG Bin, MIN Qingwen, DU Bo, BAI Yanying, YUAN Zheng, XU Yuantao. Research on ecosystem services value of ancient *Torreya grandis* in Kuaiji Mountain[J]. *Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(6): 779-785.
- [6] 胡芳名,丁之恩. 黄山不同类型香榧品质研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2003, 23(4): 1-4.  
HU Fangming, DING Zhien. Quality studies of three types of Huangshan Chinese *Torreya*[J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2003, 23(4): 1-4.
- [7] 汪瑶,余勇,郭磊,陈旭,丁之恩. 利用正交实验和模糊评价改进香榧加工工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(10): 151-155.  
WANG Yao, YU Yong, GUO Lei, CHEN Xu, DING Zhien. Application of orthogonal experiment and fuzzy evaluation in development of *Torreya grandis* processing technology[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2013, 39(10): 151-155.
- [8] 陈红星,陈华,张龙满,江瑞珍,徐晓锋,陈新华. 浙江省磐安县香榧种质资源调查[J]. *林业科学研究*, 2004, 17(5): 660-665.  
CHEN Hongxing, CHEN Hua, ZHANG Longman, JIANG Ruizhen, XU Xiaofeng, CHEN Xinhua. An investigation on the germplasm resources of Chinese *Torreya* in Pan'an county of Zhejiang province[J]. *Forest Research*, 2004, 17(5): 660-665.
- [9] 程晓建,黎章矩,戴文圣,喻卫武,曾燕如. 榧树种质资源调查与评价[J]. *果树学报*, 2009, 26(5): 654-658.

- CHENG Xiaojian, LI Zhangju, DAI Wensheng, YU Weiwu, ZENG Yanru. Investigation and evaluation of *Torreya grandis* germplasm resource[J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(5): 654-658.
- [10] 谭晓凤, 胡芳名, 张党权, 周煦惠, 杨伟. 香榧主要栽培品种的 RAPD 分析[J]. 园艺学报, 2002, 29(1): 69-71.  
TAN Xiaofeng, HU Fangming, ZHANG Dangquan, ZHOU Xuhui, YANG Wei. Molecular identification of main cultivars of *Torreya grandis* by RAPD markers[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(1): 69-71.
- [11] 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.
- [12] 沈登峰, 曾燕如, 喻卫武, 黎章矩, 张敏, 李元春, 华家其, 俞世群. 榧树种质资源的收集与种子理化性质的初步分析[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(5): 747-752.  
SHEN Dengfeng, ZENG Yanru, YU Weiwu, LI Zhangju, ZHANG Min, LI Yuanchun, HUA Jiaqi, YU Shiqun. Collection of *Torreya grandis* germplasm and analysis of seeds' physicochemical characteristics [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2011, 28(5): 747-752.
- [13] 梁珊珊, 吕芳德, 蒋瑶, 李建安, 王森, 蒋淑芳, 李凡松. 美国山核桃坚果主成分分析及综合评价[J]. 中国南方果树, 2015, 4(3): 123-128.  
LIANG Shanshan, LÜ Fangde, JIANG Yao, LI Jianan, WANG Sen, JIANG Shufang, LI Fansong. Principal component analysis and comprehensive evaluation of walnut nuts in the United States[J]. Fruit Trees in Southern China, 2015, 4(3): 123-128.
- [14] 胡安鸿, 董玉芝, 李月, 王肇延, 潘存德. 新疆乌什县核桃优树坚果性状评价[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(1): 53-59.  
HU Anhong, DONG Yuzhi, LI Yue, WANG Zhaoyan, PAN Cunde. Evaluation on walnut nut characters of superior tree in Xinjiang Wushi county[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(1): 53-59.
- [15] 蒋卉, 丁慧萍, 白红进. 新疆南疆引进鲜食枣品种品质性状的综合评价[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 55-59.  
JIANG Hui, DING Huiping, BAI Hongjin. Comprehensive assessment of quality characteristics of introduced table jujube cultivars in Southern Xinjiang[J]. Food Science, 2016, 37(3): 55-59.
- [16] 阙斐, 张星海, 赵胤. 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. Merrillii seed with supercritical CO<sub>2</sub> and comparison of its fatty acid with other four vegetable oils[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oil Association, 2013, 28(2): 33-36.
- [17] 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.
- [18] 孙勇, 张金平, 杨刚, 李佐虎. ICP-AES 法测定玉米中的微量元素含量[J]. 食品科学, 2007, 28(2): 236-237.  
SUN Yong, ZHANG Jinping, YANG Gang, LI Zuohu. Analysis of trace elements in corn by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry[J]. Food Science, 2007, 28(2): 236-237.
- [19] 曾松伟, 姬长英, 叶邦宣, 肖庆来, 范益晖. 细榧物质特性分析[J]. 农机化研究, 2015(5): 195-199.  
ZENG Songwei, JI Changying, YE Bangxuan, XIAO Qinglai, FAN Yihui. Material characteristics of *Torreya grandis* and its application[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015(5):195-199.
- [20] 曾松伟, 姬长英, 黎章矩, 喻卫武, 叶邦宣, 肖庆来. 香榧品质检测技术与分级方法探讨[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(5):151-156.  
ZENG Songwei, JI Changying, LI Zhangju, YU Weiwu, YE Bangxuan, XIAO Qinglai. Quality detection technology and classification method *Torreya*[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(5): 151-156.
- [21] QIAN Y, HUANG Z X, YAN Z G. Integrated assessment of environmental and economic performance of chemical products using analytic hierarchy process approach[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2007, 15(1):81-87.
- [22] 吴诗辉, 刘晓东, 贾月岭, 郭亚坤. 一种调整 AHP 不一致判断矩阵的优化方法[J]. 控制与决策, 2016, 31(11): 2106-2112.  
WU Sihui, LIU Xiaodong, JIA Yueling, GUO Yakun. Optimization method to improve inconsistent comparison matrix in analytic hierarchy process[J]. Control and Decision, 2016, 31(11): 2106-2112.
- [23] 徐义峰, 陈春明, 徐云青. 一种改进的 k-均值聚类算法[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25(3): 275-277.  
XU Yifeng, CHEN Chunming, XU Yunqing. An improved clustering algorithm for K-means[J]. Computer Applications and Software, 2008, 25(3): 275-277.
- [24] 闫克林, 陈刚, 谢小兵, 王斌. 基于 K-均值法的青海云杉无性系半同胞子代测定林生长性状聚类分析[J]. 林业实用技术, 2017(8): 8-10.  
YAN Kelin, CHEN Gang, XIE Xiaobing, WANG Bin. Clustering analysis on the growth traits of half sib progeny test forest of *Picea crassifolia* clones based on the K-means[J]. Practical Forestry Technology, 2017(8): 8-10.
- [25] 张军舰, 詹欢, 晏振. 基于经验欧氏似然的拟合优度检验[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2012, 30(3): 30-35.  
ZHANG Junjian, ZHAN Huan, YAN Zhen. A goodness of fit test based on empirical euclidean likelihood[J]. Journal of Guangxi Normal University(Natural Science Edition), 2012, 30(3): 30-35.
- [26] 李扬, 姚小华, 王开良, 任华东, 常君. 野生香榧种实性状变异研究[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(3): 35-38.  
LI Yang, YAO Xiaohua, WANG Kailiang, REN Huadong, CHANG Jun. Variation and correlativity analysis of fruit characters of wild *Torreya grandis* cv. Merrillii[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2009, 29(3): 35-38.
- [27] 闵会, 程诗明, 康志雄, 陈友吾. 香榧天然群体表型性状遗传多样性分析[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(2): 24-28.  
MIN Hui, CHENG Shiming, KANG Zhixiong, CHEN Youwu. Phenotypic diversity of natural *Torreya grandis* populations [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2009, 29(2): 24-28.
- [28] 唐忠厚, 魏猛, 陈晓光, 史新敏, 张爱君, 李洪民, 丁艳锋. 不同肉色甘薯块根主要营养品质特征与综合评价[J]. 中国农业科学, 2014, 47(9): 1705-1714.  
TANG Zhonghou, WEI Meng, CHEN Xiaoguang, SHI Xinmin, ZHANG Aijun, LI Hongmin, DING Yanfeng. Characters and comprehensive evaluation of nutrient quality of sweetpotato storage root with different flesh colors[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(9): 1705-1714.