

# 21个浙江山核桃无性系果实矿质营养特征分析

吴霜<sup>1,2</sup>, 姚小华<sup>2</sup>, 常君<sup>2\*</sup>, 杨水平<sup>1</sup>, 王开良<sup>2</sup>, 黄梅<sup>1,2</sup>, 任华东<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>西南大学资源环境学院, 重庆 400000; <sup>2</sup>中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 杭州 311400)

**摘要:**【目的】山核桃是我国重要的高效生态经济型干果树种, 研究比较21个浙江山核桃无性系的果实内含物矿质元素差异, 评价山核桃果实矿质营养特性, 为筛选高矿质营养价值的山核桃种质资源提供基础。【方法】采用国家标准方法对山核桃果实种仁中所含的K、Ca、Na、Mg、Zn、Cr、Mn、Fe、Cu共计9种矿质元素进行测定, 通过变异性分析、正态性检验、相关性分析、主成分分析、系统聚类法和概率分级法对参试无性系进行分析与评价。【结果】(1)山核桃的矿质营养性状变异较为丰富, 变异系数在8.93%~64.51%之间, 其中变异幅度较大的有Cr(64.51%)、Na(45.73%)、Mn(23.90%)、Fe(19.75%); 各指标均符合正态分布; 有5对指标间呈极显著正相关, 10对呈显著正相关。(2)主成分分析结果表明, 将9种矿质元素指标综合为4个成分因子, 可代表原始数据88.19%的信息量。(3)聚类分析表明, 21个山核桃无性系可根据综合成分得分聚为3类, 各类间矿质营养品质有较大差别; (4)对3个变异系数 $\geq 15\%$ 的矿质元素指标进行5级概率分级, 对5个变异系数 $< 15\%$ 的矿质元素指标进行3级概率分级, 结果与主成分分析基本一致。【结论】21个浙江山核桃无性系果实矿质营养性状变异较为丰富且均符合正态分布, 其中有18个性状指标间呈极显著或显著相关; 在主成分分析的基础上将21个山核桃无性系聚为3大类, 综合筛选出大源3号、高岭8号、徐坑24号、徐坑88号、高岭3号、大源4号6个优质无性系, 其中高岭8号与大源4号有作为优质果用无性系选育引种的潜力。

**关键词:** 山核桃; 无性系; 矿质营养; 主成分; 系统聚类; 概率分级; 综合评价

中图分类号: S664.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2022)05-0800-11

## Characteristics of fruit mineral nutrition of 21 *Carya cathayensis* clones in Zhejiang province

WU Shuang<sup>1,2</sup>, YAO Xiaohua<sup>2</sup>, CHANG Jun<sup>2\*</sup>, YANG Shuiping<sup>1</sup>, WANG Kailiang<sup>2</sup>, HUANG Mei<sup>1,2</sup>, REN Huadong<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400000, China; <sup>2</sup>Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** 【Objective】*Carya cathayensis* is an important ecological and economic dry fruit tree species in China. Studying and comparing the differences in mineral element contents in the fruit of 21 *Carya cathayensis* clones in Zhejiang province and evaluating the mineral nutritional characteristics of *Carya cathayensis* fruit can provide a basis for screening *Carya cathayensis* germplasm resources with high nutritional value. 【Methods】Nine kinds of mineral elements including K, Ca, Na, Mg, Zn, Cr, Mn, Fe and Cu in *Carya cathayensis* kernel were determined by Chinese standard method. The variation degree among different clones was compared by calculating the coefficient of variation (CV) of each mineral element; By calculating the significance index (Sig.) of each element, it was judged whether the mineral nutritional traits of the tested *Carya cathayensis* clones were formed by artificial breeding intervention rather than natural formation, and Sig. $> 0.05$  indicated that the data conformed to the normal distribution; By calculating the correlation coefficient between various elements, the possibility of breeding varieties rich in multiple mineral nutrients was evaluated. The quantitative traits conforming to normal distribution and with coefficient of variation  $\geq 15\%$  were divided into 5 grades by using ( $\bar{X} - 1.281 8S$ ),

收稿日期: 2021-12-09 接受日期: 2022-02-17

基金项目: 浙江省重点研发计划(2021c02038); 国家重点研发专项(2019YFD1001603)

作者简介: 吴霜, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为资源利用与植物保护。Tel: 1898361013, E-mail: 1259323342@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0571-63326156, E-mail: ylchj163@163.com

( $\bar{X} - 0.524 6S$ ), ( $\bar{X} + 0.524 6S$ ) and ( $\bar{X} + 1.281 8S$ ), and the traits with coefficient of variation  $< 15\%$  were divided into 3 grades by using ( $\bar{X} - 0.524 6S$ ) and ( $\bar{X} + 0.524 6S$ ), which were used to evaluate the contents of mineral nutrients among different clones. The process of principal component analysis and cluster analysis in this experiment was completed by psych package of R software and SPSS software. The principal components were extracted through the principal function in psych package (the first  $n$  principal components with a total variance contribution rate  $\geq 85.00\%$ ), rotated orthogonally, and scores = true was selected to obtain the score  $RC_k$  of the sample in each principal component; Combined with the variance contribution rate  $E_k$  of the corresponding principal component, the comprehensive score  $RC^* = \sum_{k=1}^n RC_k E_k$  of the sample was obtained; The principal component score coefficient of each index was obtained through the round function, and then the functional formula between each index and the principal component was obtained; Cluster analysis was completed through the process of “analysis classification system clustering” in SPSS software.【Results】(1)The variation of mineral nutrition characteristics of *Carya cathayensis* was rich, and the variation coefficient was between 8.93% and 64.51%, among which the larger ones were Cr (64.51%), Na(45.73%), Mn (23.90%) and Fe (19.75%). The larger the variation coefficient was, the higher the seed selection value of this element would be among the tested clones. (2) The results of normality test showed that the Sig. values of nine mineral elements were between 0.131 and 0.991, which accorded with the normal distribution, indicating that the content of mineral elements in hickory was affected by many small independent random factors. (3) The correlation matrix showed that there was a highly significant positive correlation between K and Mg (0.619), and a significant positive correlation with the contents of Cu (0.527), Zn (0.520), Ca (0.442), Cr (0.345) and Fe (0.365). Ca was positively correlated with Zn (0.680), Mg (0.586) and Cu (0.541); Na was positively correlated with the content of Cu (0.617) and Zn (0.528); Mg was positively correlated with the contents of Cu (0.838), Zn (0.835) and Fe (0.570); There was a highly significant positive correlation between Zn and the contents of Cu (0.890) and Fe (0.666); There was a significant negative correlation between Cr and Mn (-0.328); There was a significant positive correlation between Fe and Cu (0.545). The greater the correlation coefficient was, the greater the probability of obtaining clones rich in multiple mineral elements would be at the same time. (4) The results of principal component analysis showed that the contents of K, Ca, Mg, Zn, Cr, Mn, Fe and Cu were integrated into four component factors, and the cumulative variance contribution rate was 88.19%; According to the calculation results of comprehensive components, Dayuan 3, Gaoling 8, Gaoling 3, Xukeng 24 and Xukeng 89 ranked among the top 5 in the comprehensive component scores respectively, and the comprehensive mineral nutritional quality of their fruits was the best. (5) The results of systematic clustering showed that 21 *Carya cathayensis* clones could be clustered into 3 categories according to the score of comprehensive components, and there was a large distance in mineral nutritional quality among various categories. Among them, 6 clones of Dayuan 3, Gaoling 8, Xukeng 24, Xukeng 88, Gaoling 3 and Dayuan 4 were clustered into class B. The total content of mineral elements was high, and at least two of Cr, Mn and Fe contents with the largest variation range were high. (6) Three mineral element indexes with variation coefficient  $\geq 15\%$  were graded with 5-level probability, and five mineral element indexes with variation coefficient  $< 15\%$  were graded with 3-level probability. The results were basically consistent with the principal component analysis.【Conclusion】In this study, six high-quality clones were selected, including Dayuan 3, Gaoling 8, Xukeng 24, Xukeng 88, Gaoling 3 and Dayuan 4. Among them, Gaoling 8 and Dayuan 4 have the potential to be used as high-quality fruit clones for breeding.

**Key words:** *Carya cathayensis* Sarg.; Clones; Mineral nutrition; Principal component; Systematic clustering; Probability classification; Comprehensive evaluation

山核桃(*Carya cathayensis* Sarg.)别名小核桃、浙江山核桃,是胡桃科(Juglandaceae)、山核桃属(*Carya* Nutt.)<sup>[1-2]</sup>乔木,主要分布在我国浙皖交界处的天目山脉一带,广泛适生于山麓地带或具有丰厚腐殖质的谷地。山核桃果仁色美味香,无涩味,富含17种氨基酸,包括人体所必需的8种氨基酸中的7种,还富含维生素B1、B2等营养物质<sup>[3-4]</sup>,是优良的营养保健食品。山核桃木材结构紧密,韧性卓越,色泽纹理美观,为优质用材。山核桃种仁含油率超过65%,饱和脂肪酸占主导,超过油脂的90%,其中油酸含量为68.5%~77.1%<sup>[4]</sup>,油脂品质优良,是高档食用油料资源树种。山核桃树体高大、树干通直、树型优美,木材坚韧耐磨,可作为果用栽培,或结合国家战略储备林建设计划作为优质木材储备,也可以因地制宜进行果材兼用林发展。发展种植山核桃具有较好的经济效益、社会效益和生态效益,对于美丽乡村建设、精准扶贫和乡村振兴等具有重要意义。

由于山核桃投入少收益高,产业规模不断扩大,山核桃产业的竞争压力也在不断增强,传统山核桃主产区早期建立起来的地缘优势正在逐步减弱,传统实生林个体生长势分化,产量、品质变异大等问题日渐凸显<sup>[5]</sup>。在这样的背景下,推动低效实生林分向无性系林分转化,通过科学配置无性系优株建立高质量生产群体实现产业集约化发展,最终树立山核桃产业的区域公共品牌是传统山核桃持续高效发展的必然方向<sup>[6]</sup>。构建高产、高质量无性系林分的基础在于优质无性系的筛选,目前对山核桃品种的评价方法,依然普遍停留在运用变异分析、多重比较、相关性分析等基础数据分析结合主观经验的层面<sup>[7-8]</sup>,难以客观地对山核桃品质做出系统评价,对山核桃种质的定向筛选也难以做到科学全面。主成分分析法对原有指标进行降维处理,简化计算的同时避免了主观赋权,目前在猕猴桃(*Actinidia*)<sup>[9]</sup>、梨(*Pyrus*)<sup>[10]</sup>、脐橙(*Citrus sinensis*)<sup>[11]</sup>等果树的品种筛选中广泛应用。聚类分析旨在根据样品的多个测量指标,将样品归纳为若干个组内相似度比组间相似度高的群组<sup>[11]</sup>。利用主成分分析与聚类分析相结合开展综合评价的方法已广泛应用于葡萄(*Vitis vinifera*)<sup>[12]</sup>、苹果(*Malus sieversii*)<sup>[13]</sup>、龙眼(*Dimocarpus longan*)<sup>[14]</sup>等多种经济林果树的种质评价与筛选中。概率分级法目前在杏(*Armeniaca vulgaris*)<sup>[15]</sup>、

杧果(*Mangifera indica*)<sup>[16]</sup>、酸枣(*Ziziphus acidujuba*)<sup>[17]</sup>等果树的数量性状分级中取得了较为理想的结果。

山核桃果实富含多种矿质元素,能有效提供人体生长发育所必需的矿质营养,同时矿质元素含量也是评价山核桃品质的主要指标,目前对山核桃矿质营养的研究仅限于对其组成及含量的测定<sup>[7-8]</sup>,未见有关于其综合评价的报道。笔者在本试验中以浙江省金华市东方红林场山核桃无性系测定试验林为试验对象,对21个参试无性系果实种仁矿质营养组成及含量进行了相关测定与分析,并通过主成分分析、系统聚类和概率分级等统计方法对其进行分类与综合评价,从中筛选出有应用潜力的优秀无性系资源,并为山核桃品质评价提供科学思路。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

东方红林场(E28°32'~29°18'; N119°02'~120°47')位于浙江省中部的金华市婺城区琅琊镇,地处金衢盆地腹部,金华市的西南部,属于亚热带季候风气候,四季分明,气温适中,热量丰富,雨量充沛。年均温为17.9℃,年降水量1400mm,无霜期为263d;全年平均日照时数2062h,大于10℃的有效积温5500℃左右。区域内以义乌江与武义江于燕尾洲交汇形成的金华江为主要水系,岩石类型以出露花岗岩和粒度不等的冲洪积砂砾岩为主。试验林地土壤主要类型为酸性红壤,所属鄞江桥组以河流相沉积作用为主,主要岩性成分为上部粉砂亚黏土,下部含砂质砾石层。

### 1.2 试验材料

试验材料取自浙江省金华市东方红林场8年生山核桃无性系试验林,试验地为丘陵缓坡地,普通红壤,立地条件较一致,土地肥力一般。试验采用随机区组设计,5株小区3次重复,部分无重复无性系取全部果实,参试无性系21个,分别为大源1号、大源2号、大源3号、大源4号、大源5号、大源6号、高岭1号、高岭2号、高岭3号、高岭4号、高岭5号、高岭6号、高岭7号、高岭8号、徐坑1号、徐坑2号、徐坑4号、徐坑7号、徐坑24号、徐坑88号、徐坑89号。

### 1.3 测定方法

每个山核桃无性系3次重复,在山核桃果实成熟期取样,部分无重复的无性系取全部果实,每小区

取果实30个,采用鲜果仁作为测定材料,按照以下方法进行相关指标的测定:钾、钠按照GB/T 5009.91—2017《食品中钾、钠的测定》方法测定;钙按照GB/T 5009.92—2016《食品中钙的测定》方法测定;镁、锰、铁含量按照GB/T 5009.90—2016《食品中铁、镁、锰的测定》方法测定;锌含量按照GB/T 5009.14—2017《食品中锌的测定》方法测定;铬含量按照GB 5009.123—2014《食品安全国家标准食品中铬的测定》方法测定;铜含量按照GB/T 5009.13—2017《食品中铜的测定》方法测定。

#### 1.4 数据处理分析

采用Excel 2019、R软件及SPSS 19.0软件对试验获得的全部数据进行整理分析,对21个山核桃无性系的9种矿质元素指标进行变异性分析、正态性检验、相关性分析、主成分分析、聚类分析及概率分级。正态性检验采用K-S正态性检验法;相关性分析采用等距离Pearson相似性分析及双变量显著性分析法;主成分分析借助R软件的psych包完成,采用正交旋转法;聚类分析使用SPSS软件的“分析-分类-系统聚类”过程完成,采用平方欧式距离(Square Euclidean distance)。

## 2 结果与分析

### 2.1 山核桃矿质元素性状的变异分析与正态性检验

表1为21个山核桃参试无性系果实种仁矿质元素含量的变异情况及正态性检验结果。从分析结果中得知,不同无性系间山核桃果实种仁的9种矿质元素含量均存在一定程度的变异,且大多数变异幅度较大,其中变异幅度最大的是铬(Cr),变异系数高达64.51%;变异系数较大的有钠(Na)、锰(Mn)、铁(Fe),分别为45.73%、23.90%、19.75%;铜(Cu)、钙(Ca)、锌(Zn)、镁(Mg)、钾(K)的变异系数较小,分别为14.19%、13.05%、11.83%、11.46%、9.78%。变异幅度越大说明在参试无性系间存在的差异越大,针对该性状的选种价值越高。

从表1得知,各矿质元素含量Sig.值均处于0.131~0.991之间,故所有指标均符合正态分布(Sig.值大于0.05符合正态分布)。说明这些指标均为许多微小的独立随机因素影响的结果,在山核桃中表现为其内含物的营养元素差异由自身微效多基因控制的同时未经过人工干预,也说明参试山核桃长期

主要处于野生状态<sup>[18]</sup>。

### 2.2 山核桃矿质元素性状的相关性分析

对果实种仁矿质元素含量进行相关性分析,结果见表2。山核桃种仁所含的9种矿质元素之间,K与Mg(0.619\*\*)含量之间呈极显著正相关,与Cu(0.527\*)、Zn(0.520\*)、Ca(0.442\*)、Cr(0.345\*)、Fe(0.365\*)含量呈显著正相关,与其他矿质元素含量间相关不显著。Ca与Zn(0.680\*\*)含量呈极显著正相关,与Mg(0.586\*)、Cu(0.541\*)含量呈显著正相关。Na与Cu(0.617\*\*)含量呈极显著正相关,与Zn(0.528\*)含量呈显著正相关。Mg与Cu(0.838\*\*)、Zn(0.835\*\*)含量呈极显著正相关,与Fe(0.570\*)含量呈显著正相关。Zn与Cu(0.890\*\*)、Zn(0.666\*)含量呈极显著正相关。Cr与Mn(-0.328\*)含量呈显著负相关。Fe与Cu(0.545\*)含量呈显著正相关。正相关性越显著说明同时获得两种营养元素的高含量资源的可能性较大,反之可能性较小。

主成分分析的最终目的是用一组较少的变量替换一组较多的相关变量,本试验中选择了正交旋转(方差极大旋转)的方法使选择的成分保持不相关以尽可能地对成分去噪,由于正交旋转没有保留单个主成分方差最大化的性质,所以之后将新生成的变量称为成分而非主成分<sup>[19]</sup>。

### 2.3 山核桃矿质元素性状的主成分分析与综合评价

选择除Na元素外的K、Ca、Mg、Zn、Cr、Mn、Fe、Cu共8种矿质元素进行主成分分析,前4个成分的方差累计贡献率达88.19%,说明选择4个成分即可保留原数据的大部分信息。其中第1成分的贡献率最高,为33.47%;其次为第3成分,贡献率为26.58%;第2成分与第4成分贡献率为14.03%、14.11%(表3)。

通过每个矿质元素含量在该成分上的贡献率得分(表4)可得出各指标与前4个成分的函数式为:

$$RC_1=0.544Ca + 0.414K + 0.203Mg + 0.120Cu + 0.101Zn - 0.048Mn - 0.078Cr - 0.416Fe;$$

$$RC_2=0.942Mn + 0.248Cr + 0.157Ca + 0.054Zn + 0.015Cu - 0.004Fe - 0.082Mg - 0.299K;$$

$$RC_3=0.758Fe + 0.238Zn + 0.212Cu + 0.140Mg - 0.002Mn - 0.013Cr - 0.220K - 0.383Ca;$$

$$RC_4=1.003Cr + 0.225Mn + 0.125K + 0.035Fe + 0.023Zn - 0.023Ca - 0.058Cu - 0.161Mg。$$

表 1 山核桃矿质元素的变异分析

Table 1 Variation analysis of mineral elements in *Carya cathayensis*(mg·kg<sup>-1</sup>)

无性系号 Clone code	K	Ca	Na	Mg	Zn
大源2号 Dayuan 2	3 014.37±171.49	406.80±86.25	5.60±4.08	861.90±56.78	55.33±2.87
大源4号 Dayuan 4	3 162.20±4.40	397.57±22.31	8.20±4.07	807.30±56.63	60.67±8.96
大源5号 Dayuan 5	2 984.50±372.41	367.23±37.37	8.07±5.84	821.13±172.35	57.00±3.56
高岭1号 Gaoling 1	2 950.47±275.46	423.87±60.13	4.57±1.38	804.87±18.54	56.67±4.19
高岭3号 Gaoling 3	3 197.40±206.88	444.13±56.57	5.07±0.66	854.70±42.93	59.33±3.68
高岭5号 Gaoling 5	2 951.07±250.01	390.83±7.14	3.83±0.34	818.40±42.75	54.67±8.34
高岭7号 Gaoling 7	2 743.70±330.65	370.73±67.44	6.80±2.360	738.57±74.06	53.00±8.83
高岭8号 Gaoling 8	3 293.60±313.34	459.03±21.23	9.60±9.22	845.60±81.85	59.67±17.21
徐坑24号 Xukeng 24	3 473.57±205.96	507.93±98.73	3.70±0.54	882.23±66.23	56.67±11.90
徐坑88号 Xukeng 88	2 533.85±133.55	460.20±10.80	4.75±0.75	745.80±33.50	51.00±2.00
徐坑89号 Xukeng 89	3 194.97±231.90	495.47±82.26	5.77±1.03	816.87±60.71	59.33±5.25
大源1号 Dayuan 1	2 569.90	387.80	2.80	751.30	49.00
大源3号 Dayuan 3	3 236.00	418.10	4.60	975.50	63.00
大源6号 Dayuan 6	2 886.10	393.50	1.50	777.20	55.00
高岭2号 Gaoling 2	2 883.00	417.00	1.40	711.40	50.00
高岭4号 Gaoling 4	3 428.70	356.10	3.00	762.60	48.00
高岭6号 Gaoling 6	2 875.40	298.80	2.70	593.50	35.00
徐坑1号 Xukeng 1	2 833.00	393.90	3.10	890.20	52.00
徐坑2号 Xukeng 2	2 537.80	305.40	3.40	648.40	45.00
徐坑4号 Xukeng 4	2 588.70	407.80	4.80	663.40	50.00
徐坑7号 Xukeng 7	2 630.90	365.90	5.30	711.90	50.00
均值 Mean	2 950.91±281.58	403.24±51.37	4.69±2.09	784.89±87.79	53.35±6.16
变异系数 CV/%	9.78	13.05	45.73	11.46	11.83
Sig. 值 Sig. value ( $p < 0.05$ )	0.360	0.687	0.407	0.991	0.131
无性系号 Clone code	Cr	Mn	Fe	Cu	总含量 Total content
大源2号 Dayuan 2	0.15±0.11	97.53±22.33	23.47±2.82	10.83±1.27	4 475.98±88.06
大源4号 Dayuan 4	0.35±0.08	102.1±18.67	29.17±5.48	11.37±0.66	4 578.91±86.50
大源5号 Dayuan 5	0.27±0.18	79.17±16.17	28.5±4.32	10.77±0.54	4 356.64±518.64
高岭1号 Gaoling 1	0.21±0.13	102.50±15.93	21.57±1.11	11.27±0.66	4 375.97±274.44
高岭3号 Gaoling 3	0.45±0.08	94.47±15.04	24.27±0.65	11.30±0.65	4 691.12±244.86
高岭5号 Gaoling 5	0.17±0.09	106.20±23.57	26.53±6.01	10.67±1.18	4 362.37±221.57
高岭7号 Gaoling 7	0.25±0.02	93.47±35.59	20.43±2.99	10.77±1.76	4 037.72±501.18
高岭8号 Gaoling 8	0.33±0.02	124.37±33.92	24.13±5.28	12.60±3.77	4 828.93±465.61
徐坑24号 Xukeng 24	0.20±0.09	121.27±20.66	23.00±1.93	10.10±1.96	5 078.67±389.31
徐坑88号 Xukeng 88	0.14±0.12	108.50±9.00	17.90±1.70	9.05±0.05	3 931.19±98.96
徐坑89号 Xukeng 89	0.30±0.22	115.07±9.54	20.43±2.15	11.00±1.02	4 719.20±127.47
大源1号 Dayuan 1	0.04	142.70	29.70	9.10	3 942.34
大源3号 Dayuan 3	0.04	159.20	26.10	13.00	4 895.54
大源6号 Dayuan 6	0.43	143.30	24.00	9.00	4 290.03
高岭2号 Gaoling 2	0.04	115.50	22.20	9.10	4 209.64
高岭4号 Gaoling 4	0.62	81.50	23.90	9.30	4 713.72
高岭6号 Gaoling 6	0.09	105.40	11.40	7.10	3 929.39
徐坑1号 Xukeng 1	0.25	149.80	18.90	11.00	4 352.15
徐坑2号 Xukeng 2	0.37	71.90	16.80	7.90	3 636.97
徐坑4号 Xukeng 4	0.36	174.10	20.30	9.80	3 919.26
徐坑7号 Xukeng 7	0.04	147.30	18.50	9.20	3 939.04
均值 Mean	0.24±0.15	115.97±27.05	22.44±4.32	10.20±1.41	4 345.94±378.84
变异系数 CV/%	64.51	23.90	19.75	14.19	8.93
Sig 值 Sig. value ( $p < 0.05$ )	0.332	0.504	0.743	0.598	0.556

表2 矿质元素含量的相关性矩阵  
Table 2 Correlation matrix of mineral elements

矿质元素 Mineral elements	K	Ca	Na	Mg	Zn	Cr	Mn	Fe	Cu
K	1.000								
Ca	0.442*	1.000							
Na	0.236	0.226	1.000						
Mg	0.619**	0.586*	0.281	1.000					
Zn	0.520*	0.680**	0.528*	0.835**	1.000				
Cr	0.345*	-0.033	0.133	-0.004	0.126	1.000			
Mn	-0.185	0.251	-0.196	0.147	0.109	-0.328*	1.000		
Fe	0.365*	0.270	0.289	0.570*	0.666*	0.110	0.015	1.000	
Cu	0.527*	0.541*	0.617**	0.838**	0.890**	0.056	0.150	0.545*	1.000

注:\*表示显著相关,\*\*表示极显著相关。

Note: \* indicates significant correlation, \*\* indicates extremely significant correlation.

表3 矿质元素含量的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of mineral elements

矿质元素 Mineral elements	组成成分 Component			
	第1成分 RC <sub>1</sub>	第2成分 RC <sub>2</sub>	第3成分 RC <sub>3</sub>	第4成分 RC <sub>4</sub>
K	0.73	-0.33	0.20	0.32
Ca	0.86	0.25	0.08	-0.04
Mg	0.72	0.02	0.59	-0.07
Zn	0.67	0.09	0.67	0.07
Cr	0.04	-0.16	0.05	0.98
Mn	0.09	0.95	0.04	-0.16
Fe	0.12	-0.02	0.93	0.08
Cu	0.65	0.08	0.63	0.00
贡献率 E/%	33.47	14.03	26.58	14.11
累计贡献率 E*/%	33.47	47.50	74.08	88.19

表4 矿质元素含量的贡献率得分

Table 4 Contribution of 9 mineral elements

矿质元素 Mineral elements	组成成分 Component			
	第1成分 RC <sub>1</sub>	第2成分 RC <sub>2</sub>	第3成分 RC <sub>3</sub>	第4成分 RC <sub>4</sub>
K	0.414	-0.299	-0.22	0.125
Ca	0.544	0.157	-0.383	-0.023
Mg	0.203	-0.082	0.14	-0.161
Zn	0.101	0.054	0.238	0.023
Cr	-0.078	0.248	-0.013	1.003
Mn	-0.048	0.942	-0.002	0.225
Fe	-0.416	0.004	0.758	0.035
Cu	0.120	0.015	0.212	-0.058

由成分得分(RC<sub>1</sub>、RC<sub>2</sub>、RC<sub>3</sub>)与对应贡献率(E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub>、E<sub>3</sub>)之积,即  $RC^* = \sum_{k=1}^4 RC_k E_k$ , 得各无性系果实种仁矿质元素的综合成分得分结果,依次排序,可较直观地判断某一无性系的优劣。结果(表5)表明,21个参试无性系中,从综合矿质营养上看,综合成分得分越高对应的参试无性系综合矿质营养表现越好。大源3号、高岭8号、高岭3号、徐坑24号、徐坑89号

分别居综合成分得分前5名,表示这5个无性系的综合矿质营养表现最好;徐坑88号、高岭2号、徐坑7号、徐坑2号、高岭6号分别居综合成分得分的最后5名,表示这5个无性系的综合矿质营养表现最差。在对山核桃品质性状进行评价时,不能只考虑某一个或随机几个,而应该进行全面系统科学的综合评价。

### 2.4 山核桃矿质元素性状的主成分-聚类分析

根据主成分得分对21个山核桃无性系进行系统聚类(图1),在欧式距离为5时,可将21个山核桃无性系划分为3个类群。

(1)大源3号、高岭8号、徐坑24号、徐坑88号、高岭3号、大源4号6个无性系聚为A类,占总数的28.57%,综合排名均在前6名,矿质营养品质优良,种仁矿质元素总含量较高,且变异幅度较高的微量元素Cr、Mn、Fe中至少有两种元素含量较高。(2)徐坑2号、高岭6号为B类,占总数的9.52%,矿质营养品质很差,各种矿质元素含量均较低。(3)其余无性系聚为C类,矿质营养品质一般,种仁矿质元素总含量中等,微量元素Cr、Mn、Fe中至多仅一种元素含量较高。评价结果与通过原数据聚类得出的结果不尽相同,这是由于后者未能客观地确定权重,受其中大中量元素数据的影响导致部分微量元素的信息丢失。

### 2.5 山核桃矿质元素性状的概率分级

对符合正态分布的数量性状可使用  $(\bar{x} - 1.281 8S)$ 、 $(\bar{x} - 0.524 6S)$ 、 $(\bar{x} + 0.524 6S)$ 、 $(\bar{x} + 1.281 8S)$  4个分点分为5级,使数量性状落入1~5级的概率分别为10%、20%、40%、20%、10%<sup>[20]</sup>。根据K-S检验结果,参试浙江山核桃果实种仁的营养元素含量各项

表 5 各无性系果实种仁矿质营养成分得分及排名

Table 5 Principal component value of mineral nutrient in *Carya cathayensis* kernel

无性系号 Clone code	第1成分 RC <sub>1</sub>	第2成分 RC <sub>2</sub>	第3成分 RC <sub>3</sub>	第4成分 RC <sub>4</sub>	综合成分 Comprehensive component
大源3号 Dayuan 3	1.384/4	0.838/6	1.384/3	-1.221/21	0.668/1
高岭8号 Gaoling 8	0.297/3	0.260/7	0.297/8	0.584/6	0.629/2
高岭3号 Gaoling 3	0.306/5	-0.535/15	0.306/7	1.111/4	0.458/3
徐坑24号 Xukeng 24	-0.800/1	-0.179/10	-0.800/17	-0.205/12	0.421/4
徐坑89号 Xukeng 89	-0.814/2	0.110/9	-0.814/19	0.341/8	0.416/5
大源4号 Dayuan 4	1.505/11	-0.478/13	1.505/2	0.662/5	0.375/6
大源6号 Dayuan 6	0.245/15	1.274/2	0.245/9	1.479/2	0.261/7
徐坑1号 Xukeng 1	-0.219/8	1.154/3	-0.219/13	0.021/9	0.203/8
徐坑4号 Xukeng 4	-0.509/18	2.627/1	-0.509/15	1.269/3	0.147/9
高岭1号 Gaoling 1	0.018/6	-0.427/12	0.018/11	-0.403/13	0.062/10
高岭4号 Gaoling 4	-0.168/12	-1.243/20	-0.168/12	2.436/1	0.032/11
高岭5号 Gaoling 5	0.967/13	-0.495/14	0.967/5	-0.583/14	-0.003/12
大源5号 Dayuan 5	1.550/16	-1.340/21	1.550/1	-0.121/10	-0.013/13
大源2号 Dayuan 2	0.397/7	-0.875/18	0.397/6	-0.867/17	-0.017/14
大源1号 Dayuan 1	1.283/20	0.924/5	1.283/4	-1.097/19	-0.210/15
高岭7号 Gaoling 7	0.050/14	-0.592/16	0.050/10	-0.170/11	-0.252/16
徐坑88号 Xukeng 88	-1.181/9	0.185/8	-1.181/20	-0.856/16	-0.322/17
高岭2号 Gaoling 2	-0.474/10	-0.200/11	-0.474/14	-1.180/20	-0.368/18
徐坑7号 Xukeng 7	-0.529/17	0.988/4	-0.529/16	-1.042/18	-0.393/19
徐坑2号 Xukeng 2	-0.807/21	-1.135/19	-0.807/18	0.582/7	-0.858/20
高岭6号 Gaoling 6	-2.499/19	-0.859/17	-2.499/21	-0.743/15	-1.236/21

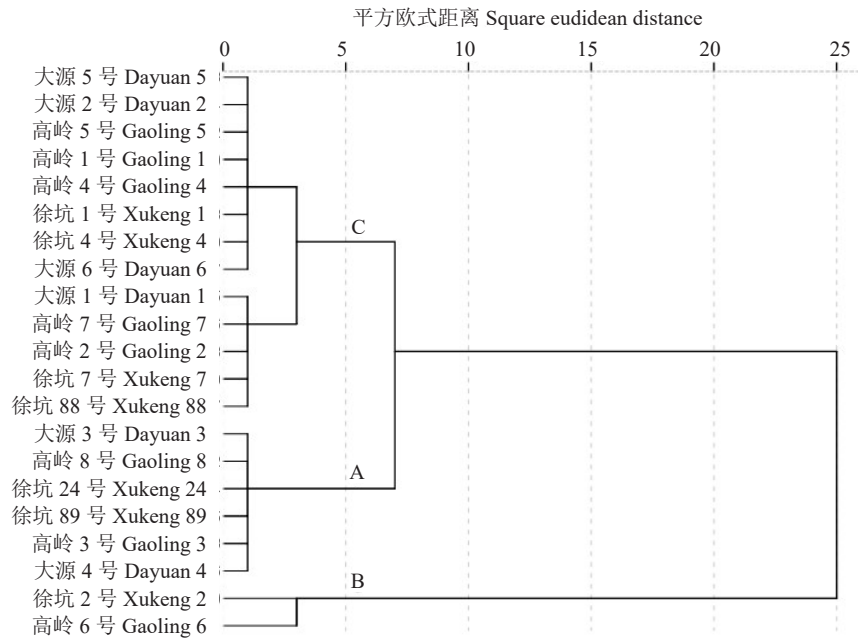


图 1 21个山核桃无性系的聚类分析

Fig. 1 Clustering analysis of 21 *Carya cathayensis* clones

指标均符合正态分布,可采用概率分级。对除钠元素以外,变异系数 $\geq 15\%$ 的铬(Cr)、锰(Mn)、铁(Fe)3种元素进行5级概率分级,更有利于筛选出性状突出的无性系资源<sup>[21]</sup>。

表6为5级概率分级的结果,参照测定结果可知,在参试的21个山核桃无性系中,富铬资源有高

岭3、4、8号,大源4、6号,徐坑2、4号;富铁资源有大源1、3、4、5号,高岭5号;富锰资源有徐坑1、4、7号,大源1、3、6号。概率分级结果(表6)与主成分分析结果(表5)基本一致,即在5级概率分级中处于4、5级的资源,在主成分分析结果中同样处于相应的高含量位置,如大源1号、大源4号、大源5号、高岭5

表6 山核桃果实矿质元素含量概率分级标准(5级)

矿质元素 Mineral elements	1级 Level 1	2级 Level 2	3级 Level 3	4级 Level 4	5级 Level 5
Cr	< 0.05	0.05~0.16	0.16~0.32	0.32~0.44	> 0.44
Mn	< 81.30	81.30~101.78	101.78~130.16	130.16~150.64	> 150.64
Fe	< 16.89	16.89~20.17	20.17~24.71	24.71~27.98	> 27.98

号、大源3号种仁含铁量为29.70、29.17、28.50、26.53、26.10 mg·kg<sup>-1</sup>, 概率分级中处于4、5级位置, 而在Fe元素拥有最大正载荷的第3成分中排名均为1~5名。

对变异系数<15%的铜(Cu)、钙(Ca)、锌(Zn)、镁(Mg)、钾(K)5种元素进行3级概率分类, 使用( $\bar{X}-0.5246S$ )、( $\bar{X}+0.5246S$ )2个分点分为3级, 使数量性状落入1~3级的概率分别为30%、40%、30%, 扩大选择的涵盖范围, 避免漏掉性状优良的无性系资源。

表7为3级概率分类的结果, 富钾资源有大源3、4号, 高岭3、4、8号, 徐坑24、89号; 富钙资源有高岭3、8号, 徐坑24、88、89号; 富镁资源有大源2、3号, 高岭3、8号, 徐坑1、24号; 富锌资源有大源3、4、5号, 高岭1、3、8号, 徐坑24、89号; 富铜资源有大源3、4号, 高岭1、3、8号, 徐坑1、89号。位于不同元素较高级别的无性系交集不为空时, 包含的无性系具有同时富含多种矿质元素的优秀性状, 如同时富含钾钙镁的无性系有高岭3、8号, 徐坑24号, 在K、Ca、Mg元素拥有较大正载荷的第1成分中排名均在1~5名之

表7 山核桃果实矿质元素含量概率分级标准(3级)

级别 Grade	K	Ca	Mg	Zn	Cu
1级 Level 1	< 2 803.20	< 376.29	< 738.84	< 50.12	< 9.46
2级 Level 2	2 803.20~3 098.63	376.29~430.19	738.84~830.95	50.12~56.58	9.46~10.94
3级 Level 3	> 3 098.63	> 430.19	> 830.95	> 56.58	> 10.94

内, 说明3级概率分类同样与主成分分析的结果一致。

## 3 讨论

### 3.1 山核桃仁中的矿质元素含量与差异

山核桃的矿质营养组成丰富, 配比均衡, 能满足人体多种必需微量元素的摄入需求, 是人体补充微量元素优秀的食物来源。有研究表明, 成年人对矿质元素的平均摄入量K为2000~2500 mg·d<sup>-1</sup>, Ca为800 mg·d<sup>-1</sup>, Mg为300~350 mg·d<sup>-1</sup>, Zn为10~15 mg·d<sup>-1</sup>, Mn为3~9 mg·d<sup>-1</sup>, Fe为10~18 mg·d<sup>-1</sup>, Cu为2 mg·d<sup>-1</sup> [22], Cr为0.05~0.2 mg·d<sup>-1</sup> [23]。根据本试验结果平均水平, 一个成年人每日食用5~6颗山核桃(约30 g), 即可满足K日摄入量的3.54%~4.43%, Ca日摄入量的1.51%, Mg日摄入量的6.73%~7.85%, Zn日摄入量的10.67%~16.00%, Cr日摄入量的3.64%~14.54%, Mn日摄入量的38.66%~115.97%, Fe日摄入量的3.74%~6.73%, Cu的日摄入量10.20%~15.30%。

钠作为人体肌肉组织和神经组织的重要成分之一, 参与维持体内酸碱平衡, 但钠过量摄入容易引起

高血压等心血管疾病 [24]。近年来国家大力提倡低盐低钠的健康饮食, 根据国家现行标准 [25], 食品中Na含量仅为同类食品中Na的一半以下且含量不高于40 mg·100 g<sup>-1</sup>的食品可称为“非常低钠食品”, 本试验参试无性系中种仁的Na含量最大值为9.60 mg·kg<sup>-1</sup>, 符合低钠食品标准。钾有调节人体细胞内外渗透压平衡、参与细胞的新陈代谢等生理功能, 人体缺钾时会导致心跳活动减弱, 增加罹患心脏病的风险 [22]。高钾低钠饮食有利于降低高血压与心血管疾病的发生率, 山核桃仁的钾钠比值远高于其他常见坚果如香榧(*Torreya yunnanensis*)为63.19 [26], 花生(*Arachis hypogaea*)为90.63 [27], 核桃(*Juglandaceae*)为79.69 [28], 巴旦木(*Amygdalus communis*)为41.11 [29], 本试验中参试山核桃种仁的钾钠比高达629.19, 可见山核桃是一种健康的高钾低钠食品, 多食鲜山核桃仁有助于维护体内钠钾平衡。

变异分析的结果表明, 测定的9种矿质元素含量在无性系间均存在明显遗传差异。除Na元素外变异系数最大的是Cr, 为64.51%, Mn、Fe次之, 分别为23.90%与19.75%, 说明在围绕种仁矿质元素含量



的新品种选育过程中围绕Cr、Mn、Fe的选育空间较大,筛选难度小。铬作为人体必需的微量元素之一,有促进人体正常生长发育和调节血糖的功能,食用山核桃可以预防由于日常饮食单一化导致人体缺铬<sup>[15]</sup>。锰有促进骨骼的正常生长和发育、维持正常的糖和脂肪代谢的作用<sup>[30]</sup>,山核桃相较于其他常见坚果锰含量<sup>[26-29]</sup>极为丰富,可作为人体补充锰元素的优秀食物来源。

### 3.2 山核桃矿质元素含量的综合评价

笔者利用主成分分析法对21个山核桃无性系种仁中K、Ca、Mg、Zn、Cr、Mn、Fe、Cu共8种矿质元素进行了综合评价,用4个新的综合指标反映了原有指标所包含信息的89.19%,且互相保持不相关,同时客观地确定其权重,尽可能避免主观误差。

由各指标与成分的函数式可看出,第1成分得分越高,在其中拥有正载荷的Ca、K、Mg等元素含量越高,拥有负载荷的Fe、Cr、Mn含量越低。但负载荷成分仅占总贡献率得分绝对值的28.17%,其中Fe的绝对值占比最大,为21.62%,由相关性分析得知Fe元素与其他元素含量均呈正相关,可知第1成分得分越高并不代表Fe含量将大幅降低。同时承担正载荷的Ca、K、Mg、Zn、Cu元素为人体必需的无机元素,且K、Ca、Mg、Zn作为山核桃果实中的大中量元素一定程度决定了种仁中营养物质的总量,从提高这几种元素含量的角度出发,可选择第1成分得分高的无性系;或从特化型品种选育的角度出发,可选择Fe含量较高,即第1成分得分较低的无性系。

第2成分得分越高,Mn、Cr等元素含量越高,K、Mg含量越低。其中正载荷成分占总贡献率得分绝对值的78.85%,Mn、Cr的占比最大,分别为52.04%与13.77%,所以选择Mn、Cr含量较高,即第2成分得分靠前的无性系为宜。

第3成分得分越高,Fe等元素含量越高,Ca、K等元素含量越低。其中正载荷成分占总贡献率得分绝对值的68.57%,Fe的占比最大,为38.55%。从矿质元素均衡的角度应兼顾其他元素与Fe元素的含量,宜取第3成分得分靠近中间值的无性系;或从尽可能提高Fe元素含量的角度出发,选取Fe含量较高,即第3成分得分靠前的无性系。

第4成分得分越高,Cr、Mn等元素含量越高,Mg等元素含量越低。其中正载荷成分占总贡献率得分绝对值的85.36%,Cr、Mn的占比最大,分别为

60.68%与13.61%,所以从提高Cr、Mn含量的角度选取第4成分得分靠前的无性系为宜。

根据综合成分对21个无性系进行系统聚类,在欧式距离为5时可以聚合为3类。其中来自同一小区域的无性系可能被聚合到不同类中,这是由于在自然选择和人工选育的过程中可能产生了较大程度的遗传分歧<sup>[31]</sup>。

结果表明,由大源3号、高岭8号、徐坑24号、徐坑88号、高岭3号、大源4号聚为的A类综合得分最高,说明这6个无性系的矿质营养综合表现最佳。结合上述讨论,在A类无性系中,(1)大源3号、高岭8号、高岭3号、徐坑24号、徐坑89号第1成分得分排名靠前,营养物质总含量较高;大源4号第1成分得分排名中等,Fe元素含量较高。(2)大源3号、高岭8号、徐坑89号第2成分得分排名靠前,Mn与Cr含量较高。(3)高岭8号、高岭3号第3成分排名中等,兼顾K、Ca元素与Fe元素含量;大源3号与大源4号第3成分得分排名靠前,Fe元素含量高。(4)高岭3号、高岭8号、大源4号第4成分得分排名靠前,Cr元素含量高。

综上所述,在综合评分最优的A类中,从提高果实矿质元素总量的角度出发,同时兼顾Cr、Mn、Fe等微量元素,选择第1、2、3、4成分均靠前的高岭8号为宜;从选育含Fe量高的品种角度出发,选择第1成分得分中等但第3成分得分在A类中最高的大源4号为宜。笔者在本研究中同时运用了3级与5级概率分类法对山核桃内含物中矿质元素含量进行了概率分级,筛选出了富含不同矿质元素的无性系,与上述分析得出的结果基本一致。说明在筛选良种资源的过程中将概率分级法与主成分-聚类分析法有机结合,有利于客观准确地认识与评价资源质量。

夏玉洁等<sup>[32]</sup>对21个浙江山核桃无性系的果实形态(单果质量、出籽率和出仁率等)和内含物营养组成(粗脂肪、蛋白质、可溶性糖、单宁等)进行了比较分析,结果表明,在营养品质方面,高岭7号与高岭8号的无性系可溶性糖含量极显著高于其他无性系;大源2号、大源4号和高岭7号的氨基酸总量和人体必需氨基酸含量极显著高于其他无性系。在外观品质方面,除青果果长与坚果果长在无性系间表现出显著差异外,其他外形指标无性系间差异均未达到显著水平。

影响果实商品价值的因素十分复杂,受到消费

者的主观选择影响,在进行品质评价时适当地加入市场需求的考量对于品种的商品性开发更有利。根据白卫东等<sup>[33]</sup>针对坚果消费市场的调查研究,大多数消费者购入坚果时更注重味道而非外观,所以结合本研究的结果,营养丰富而且味道香甜的高岭8号和大源4号有作为优质果用无性系的潜力。

## 4 结 论

浙江山核桃无性系资源果实矿质元素含量存在丰富的变异,针对21个山核桃无性系果实内含物矿质元素进行综合评价,结果表明大源3号、高岭8号、徐坑24号、徐坑88号、高岭3号、大源4号的综合矿质营养评价最高。

### 参考文献 References:

- [1] 艾呈祥,李翠学,陈相艳,刘庆忠.我国山核桃属植物资源[J].落叶果树,2006,38(4):23-24.  
AI Chengxiang, LI Cuixue, CHEN Xiangyan, LIU Qingzhong. *Carya* plant resources in China[J]. Deciduous Fruit, 2006, 38(4): 23-24.
- [2] 郑万钧.中国树木志[M].北京:中国林业出版社,1985:2379.  
ZHENG Wanjuan. Dendrology of China [M]. Beijing: China Forestry Press, 1985: 2379.
- [3] 王冀平,李亚南,马建伟.山核桃仁中主要营养成分的研究[J].食品科学,1998,19(4):44-46.  
WANG Jiping, LI Yanan, MA Jianwei. Study on main nutritional components in hickory kernel[J]. Food Science, 1998, 19(4): 44-46.
- [4] 常君,任华东,姚小华,王开良,周燕,周振琪.山核桃不同无性系果实性状及营养成分分析[J].林业科学研究,2017,30(1):166-173.  
CHANG Jun, REN Huadong, YAO Xiaohua, WANG Kailiang, ZHOU Yan, ZHOU Zhenqi. Nut fruit characteristics and nutrients of *Carya cathayensis* clones[J]. Forestry Science Research, 2017, 30(1): 166-173.
- [5] 叶方强.浙江省临安山核桃区域品牌评价分析[D].福州:福建农林大学,2015.  
YE Fangqiang. Analysis on regional brand evaluation of pecan in Lin'an, Zhejiang province[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015.
- [6] 马常耕.无性系林业与无性系育种[J].湖南林业科技,1986(3):1-8.  
MA Changeng. Clonal forestry and clonal breeding [J]. Hunan Forestry Science and Technology, 1986(3): 1-8.
- [7] 夏国华,黄坚钦,解红恩,王正加,汪樟春,刘力.山核桃不同器官矿质元素含量的动态变化[J].果树学报,2014,31(5):854-862.  
XIA Guohua, HUANG Jianqin, XIE Hong'en, WANG Zhengjia, WANG Zhangchun, LIU Li. Dynamic changes of mineral elements in different organs of hickory (*Carya cathayensis*) [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5): 854-862.
- [8] 夏玉洁,傅松玲,姚小华,王开良,滕建华.22个山核桃无性系树体性状的比较[J].经济林研究,2017,35(4):231-235.  
XIA Yujie, FU Songling, YAO Xiaohua, WANG Kailiang, TENG Jianhua. Comparison of tree characteristics of 22 clones of *Carya cathayensis* [J]. Research on Economic Forest, 2017, 35(4): 231-235.
- [9] 刘科鹏,黄春辉,冷建华,陈葵,严玉平,辜青青,徐小彪.‘金魁’猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价[J].果树学报,2012,29(5):867-871.  
LIU Kepeng, HUANG Chunhui, LENG Jianhua, CHEN Kui, YAN Yuping, GU Qingqing, XU Xiaobiao. Principal component analysis and comprehensive evaluation of ‘Jinkui’ kiwi fruit quality [J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(5): 867-871.
- [10] 董星光,曹玉芬,田路明,张莹,齐丹,常耀军.梨品种制汁性能的主成分分析与综合评价[J].中国果树,2013(5):21-24.  
DONG Xingguang, CAO Yufen, TIAN Luming, ZHANG Ying, QI Dan, CHANG Yaojun. Principal component analysis and comprehensive evaluation of juice making performance of pear varieties [J]. China Fruits, 2013(5): 21-24.
- [11] 游晓商,周小娟,林姈蓓,钟八莲,彭婷.‘晚棱’脐橙及其芽变材料南瓜状脐橙果实品质综合评价[J].中国果树,2020(1):88-92.  
YOU Xiaoshang, ZHOU Xiaojuan, LIN Jinbei, ZHONG Balian, PENG Ting. Comprehensive evaluation of fruit quality between ‘Lane late navel orange’ and its bud sport pumpkin-like navel orange [J]. China Fruits, 2020(1): 88-92.
- [12] 林蝉蝉,何舟阳,单文龙,刘旭,杨晨露,王华,李华.基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质[J].果树学报,2020,37(4):74-86.  
LIN Chanchan, HE Zhouyang, SHAN Wenlong, LIU Xu, YANG Chenlu, WANG Hua, LI Hua. Comprehensive evaluation of fruit quality of red fresh grape in Yangling area based on principal component and cluster analysis [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(4): 74-86.
- [13] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,毕金峰.基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J].农业工程学报,2014,30(13):276-285.  
GONG Liyan, MENG Xianjun, LIU Naiqiao, BI Jinfeng. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13): 276-285.
- [14] 黄爱萍,陈秀萍,胡文舜,姜帆,郑娜,章希娟,魏秀清,邓朝军,郑少泉.龙眼种质资源果实性状多样性分析及其数量分类研究[J].果树学报,2010,27(6):938-945.  
HUANG Aiping, CHEN Xiuping, HU Wenshun, JIANG Fan, ZHENG Shan, ZHANG Xijuan, WEI Xiuqing, DENG Chaojun, ZHENG Shaoquan. Fruit character diversity analysis and numerical classification of longan (*Dimocarpus*) germplasm resource [J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(6): 938-945.
- [15] 赵海娟,刘威生,刘宁,张玉萍,章秋平,刘硕.普通杏(*Armeniaca vulgaris*)种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J].果树学报,2013,30(1):37-42.  
ZHAO Haijuan, LIU Weisheng, LIU Ning, ZHANG Yuping, ZHANG Qiuping, LIU Shuo. Variation and probability classification of main quantitative characters of apricot (*Armeniaca vulgaris*) germplasm resources [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(1): 37-42.

- [16] 尼章光,张林辉,解德宏,罗心平,刘成明,文定良,俞艳春. 怒江流域杧果种质资源主要数量性状变异及概率分级[J]. 果树学报,2009,26(4):492-497.  
NI Zhangguang, ZHANG Linhui, XIE Dehong, LUO Xinping, LIU Chengming, WEN Dingliang, YU Yanchun. Variation and probability grading of main quantitative characteristics of mango germplasm resource in Nujiang valley [J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(4):492-497.
- [17] 杨雷,周俊义,刘平,赵智慧,杨莉,李莉,郝保春. 酸枣种质资源果实主要数量性状变异及概率分级[J]. 河北农业大学学报,2006,29(1):34-37.  
YANG Lei, ZHOU Junyi, LIU Ping, ZHAO Zhizhi, YANG Li, LI Li, HAO Baochun. Variation and probability grading of main quantitative characters of wild jujube germplasm resource [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2006, 29(1):34-37.
- [18] 刘明国,赵桂玲,董胜君. 喀左山杏优良单株选择研究[C]//北方省区灌木暨山杏选育、栽培及开发利用研讨会论文集. 2004:56-61.  
LIU Mingguo, ZHAO Guiling, DONG Shengjun. Study on excellent single plant selection of Kazuo apricot[C]// Proceedings of the Symposium on Selection, Cultivation, Development and Utilization of Shrubs and Apricot in Northern Provinces and Regions. 2004:56-61.
- [19] KABACOFF R I. R 语言实战[M]. 高涛,肖楠,陈钢,译. 北京:人民邮电出版社,2013:303-304.  
KABACOFF R I. R language practice [M]. GAO Tao, XIAO Nan, CHEN Gang, Trans. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2013:303-304.
- [20] 刘孟军. 枣树数量性状的概率分级研究[J]. 园艺学报,1996,23(2):105-109.  
LIU Mengjun. Studies on the variations and probability gradings of major quantitative characters of Chinese jujube [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1996, 23(2):105-109.
- [21] 刘青柏,刘明国,肖德平,纪连军,杨玉玲. 辽西朝阳地区酸枣种质果实主要性状特征[J]. 林业科学,2016,52(4):38-47.  
LIU Qingbai, LIU Mingguo, XIAO Deping, JI Lianjun, YANG Yuling. Main fruit characteristics of *Ziziphus acidujuba* germplasm resources in chaoyang, western liaoning province [J]. Forestry Science, 2016, 52(4):38-47.
- [22] 李旭玫. 茶叶中的矿质元素对人体健康的作用[J]. 中国茶叶,2002,24(2):30-31.  
LI Xumei. Role of mineral elements in tea on human health [J]. China Tea, 2002, 24(2):30-31.
- [23] 吴茂江. 铬与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,2014,31(4):72-73.  
WU Maojiang. Chromium and human health [J]. Studies of Trace Elements and Health, 2014, 31(4):72-73.
- [24] 张晓杰,姜慧芳,任小平,廖伯寿. 中国花生核心种质的主成分分析及相关分析[J]. 中国油料作物学报,2009,31(3):298-304.  
ZHANG Xiaojie, JIANG Huifang, REN Xiaoping, LIAO Boshou. Principal component analysis and correlation analysis on Chinese peanut core collection [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2009, 31(3):298-304.
- [25] 全国特殊膳食标准化技术委员会. 低钠食品:GB/T 23789—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.  
National Technical Committee for Standardization of Special Diet. Low sodium food: GB/T 23789—2009[S]. Beijing: China Standards Press, 2009.
- [26] 马长乐,周稚凡,李向楠,付荣,黄晓霞,李靖. 云南榧子和香榧子营养成分比较研究[J]. 食品研究与开发,2015,36(14):92-94.  
MA Changle, ZHOU Zhifan, LI Xiangnan, FU Rong, HUANG Xiaoxia, LI Jing. Nutrients comparative study in seeds of *Torreya Yunnanensis* and *Torreya grandis* [J]. Food Research and Development, 2015, 36(14):92-94.
- [27] 张勤. 花生仁和花生红衣 8 种元素的测定与比较[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),1992,13(3):111-113.  
ZHANG Qin. Determination and comparison of eight elements in peanut kernel and peanut red coat [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 1992, 13(3):111-113.
- [28] 努尔买买提·阿布地热木,焦灰敏,周小魏,伊再提古丽·加帕尔,王飞雪,王新建. 新疆核桃及后代坚果矿物质营养成分分析[J]. 食品工业科技,2019,40(13):186-192.  
Nurmaiti · Abdireki, JIAO Huimin, ZHOU Xiaowei, Ezetiguli · Aarpal, WANG Feixue, WANG Xinjian. Analysis of nutrient elements in xinjiang walnut (Juglandaceae) and its offspring nuts [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13):186-192.
- [29] 孙蕾,丁春瑞. 新疆巴旦木及巴旦木仁油营养成分分析[J]. 中国油脂. 2018,43(3):87-89.  
SUN Lei, DING Chunrui. Nutritional components of *Amygdalus communis* L. and *Amygdalus communis* L. kernel oil in Xinjiang [J]. China Oil, 2018, 43(3):87-89.
- [30] 徐天天,李芳,邓源林,侯晓晖. 锰中毒机制及其治疗的研究进展[J]. 职业与健康,2019,35(5):710-713.  
XU Tiantian, LI Fang, DENG Yuanlin, HOU Xiaohui. Research progress on mechanism and treatment of manganese poisoning [J]. Occupational and Health, 2019, 35(5):710-713.
- [31] 殷冬梅,张幸果,王允,崔党群. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(4):507-512.  
YIN Dongmei, ZHANG Xingguo, WANG Yun, CUI Dangqun. Principal component analysis and comprehensive evaluation on quality traits of peanut parent [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(4):507-512.
- [32] 夏玉洁,姚小华,任华东,王开良,常君,傅松玲,滕建华,邵慰忠. 22 个山核桃无性系果实营养成分的比较分析[J]. 中国粮油学报,2018,33(4):49-55.  
XIA Yujie, YAO Xiaohua, REN Huadong, WANG Kailiang, CHANG Jun, FU Songling, TENG Jianhua, SHAO Weizhong. Comparative analysis of the nutritional components of 22 *Carya cathayensis* clones [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association. 2018, 33(4):49-55.
- [33] 白卫东,刘薇,郭俊成,贾岐乾,王小东,李震. 坚果市场消费者消费行为调查研究[J]. 市场周刊,2018(12):90-91.  
BAI Weidong, LIU Wei, GUO Juncheng, JIA Qiqian, WANG Xiaodong, LI Zhen. Investigation on consumer behavior in nut market [J]. Market Weekly, 2018(12):90-91.