

张鹏, 杨旭昆, 米艳华, 等. 云南不同品种核桃果实品质分析与综合评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(14): 245–252. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080259

ZHANG Peng, YANG Xukun, MI Yanhua, et al. Fruit Quality Analysis and Comprehensive Evaluation of Different Varieties Walnuts and Pecan in Yunnan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(14): 245–252. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080259

· 分析检测 ·

云南不同品种核桃果实品质分析与综合评价

张 鹏¹, 杨旭昆¹, 米艳华¹, 刘振环^{1,*}, 陈 璐¹, 李茂萱¹, 王文治¹, 张木海², 杨恩情², 常丽美², 王建雄³

(1. 云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 云南昆明 650205;

2. 漾濞彝族自治县农业农村局, 云南大理 672599;

3. 云南农业大学水利学院, 云南昆明 650201)

摘 要: 为了探究云南主栽核桃和薄壳山核桃果实的品质评价指标, 选取 27 个核桃品种果实, 对矿质元素、蛋白质、粗脂肪等 12 个营养指标进行变异和相关性分析, 并采用主成分和聚类分析方法, 进行分类与综合评价。结果表明: 12 个营养指标的含量变异较为丰富, 变异系数的变化范围为 5%~83%, 其中 V_C 变异系数最大, 粗脂肪变异系数最小; 9 种矿质元素平均含量从高到低依次为: $K>P>Mg>Ca>Mn>Na>Fe>Zn>Cu$, 蛋白质含量均值为 15.62%, 脂肪含量均值为 68.63%, V_C 的平均含量为 4.66 mg/100 g; 相关性分析表明, 12 个营养指标之间, P、Fe、Mg、Ca、Cu 均与蛋白质呈极显著 ($P<0.01$) 正相关; 主成分分析进行综合评价筛选出品质最佳的核桃品种为‘香茶’‘永平’‘晚熟’和‘小圆果’, 薄壳山核桃中品种‘卡多’综合表现较好; 聚类分析结果显示, 可将其分为两大类, 即富含矿质元素类群和高脂肪含量类群; 相关性分析和主成分分析结果显示, K、Fe、Mg、Ca、Cu 元素、蛋白质、脂肪为评价云南不同品种核桃品质的关键性指标。薄壳山核桃适合榨油, 22 种主栽核桃适合直接食用或开发富矿质元素和高蛋白的功能饮料。研究明确了云南核桃品质评价的关键指标并探明品质特性, 提供科学分类方法, 为云南核桃品质评价体系的构建奠定理论依据。

关键词: 核桃, 品质, 主成分分析, 聚类分析, 综合评价

中图分类号: TS255.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)14-0245-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080259



本文网刊:

Fruit Quality Analysis and Comprehensive Evaluation of Different Varieties Walnuts and Pecan in Yunnan

ZHANG Peng¹, YANG Xukun¹, MI Yanhua¹, LIU Zhenhuan^{1,*}, CHEN Lu¹, LI Maoxuan¹, WANG Wenzhi¹,
ZHANG Muhai², YANG Enqing², CHANG Limei², WANG Jianxiong³

(1. Quality Standards and Testing Technology Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences,
Kunming 650205, China;

2. Agricultural and Rural Bureau of Yangbi Yi Autonomous County, Dali 672599, China;

3. College of Water Resources and Hydraulic Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: To explore the quality evaluation indicators of walnut and pecan varieties cultured in Yunnan, the contents of 12 nutritional indicators which included in mineral elements, protein, crude fat, and vitamin C of 27 walnut varieties were determined. 12 indicators were comprehensively explored by correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis to reveal variation and comprehensive quality of walnut resources in Yunnan Province. Results showed that the variation of the content of 12 indicators was relatively rich, the variation coefficient ranged from 5% to 83%, among which the variation coefficient of vitamin C was the largest and the variation coefficient of crude fat was the smallest. The order

收稿日期: 2023-08-24

基金项目: 云南省重大科技专项计划项目 (202202AE090029); 云南省重大科技专项 (农业) 计划项目 (202102AE090051); 高原特色现代农业质量安全科技支撑专项; 2023 年“三区”科技人才专项。

作者简介: 张鹏 (1988-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 农产品质量安全与品质调控分析, E-mail: zp@yaas.org.cn。

* 通信作者: 刘振环 (1977-), 男, 硕士, 正高级工程师, 研究方向: 农产品质量与安全, E-mail: 29021781@qq.com。

of the average contents of 9 mineral elements was $K > P > Mg > Ca > Mn > Na > Fe > Zn > Cu$. The average contents of protein, fat and vitamin C were 15.62%, 68.63% and 4.66 mg/100 g, respectively. As demonstrated by the results of correlation analysis on 12 indicators, there was a significant positive correlation between protein and P, Fe, Mg, Ca, and Cu. The principal component analysis was used to comprehensively evaluate, showed that the comprehensive quality of walnut varieties 'Xiangcha' 'Yongping' 'Wanshu' and 'Xiaoyuanguo' were the best and the pecan variety 'Kaduo' was the better. The clustering analysis results showed that it can be divided into two major categories, namely the group rich in mineral elements and the group with high fat content. Subsequently, by combining with cluster analysis, K, Fe, Mg, Ca, Cu, protein and fat were determined as the critical indicators to evaluate the quality of walnut and pecan varieties cultured in Yunnan. Pecan varieties were suitable for extracting oil, and 22 main walnut varieties were suitable for direct consumption or the development of functional beverages rich in mineral elements and protein. The study clarified the critical indicators for evaluating the quality of Yunnan walnut and explored its quality characteristics, providing a scientific classification method, and laying a theoretical basis for the construction of the Yunnan walnut quality evaluation system.

Key words: walnuts; quality; principal component analysis; cluster analysis; comprehensive evaluation

我国核桃栽培历史悠久,是世界核桃起源地之一^[1]。随着产业发展,核桃已作为特色优势农产品,在国家产业扶贫和增加农民收益方面发挥重要作用,云南气候和地理条件具有多样性,核桃品种资源丰富品质优异,是我国核桃生产的第一大省,种植面积已超过 10 万 hm^2 ^[2]。据统计,截止 2022 年底,云南核桃产量已达 191 万吨,综合产值达 539 亿元,稳居全国首位,主要以普通核桃(*Juglans regia* Linn.)、薄壳山核桃(*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch)、泡核桃(*Juglans sigillata* Dode)等种为主,主栽品种有漾濞泡核桃、大姚三台核桃、昌宁细香核桃等,占全省种植面积 70% 以上,尤其在大理漾濞县境内,近 90% 的农户均有种植核桃,核桃已成为当地乡村振兴发展战略中的主导产业之一^[3-5],占农民收入的 40% 以上^[6]。研究发现,核桃果实中富集了大量人体必需的各种矿物质、蛋白质、维生素以及黄酮和多酚类等活性物质,具有较高的营养价值和药用保健功效^[7-10]。因此,深入挖掘和研究当地核桃品质特征^[11],综合评价其品质和营养特性^[12-14],显得尤为重要。

然而,核桃果实营养品质受核桃品种、立地环境和栽培管理等多重因素的影响,不同品种间矿质元素、脂肪、蛋白质、维生素含量均存在较大差异^[15,16-17]。苏为耿等^[18]对云南 6 种核桃的果实特性和营养成分进行分析,结果表明,6 个核桃品种在粗脂肪、蛋白质与纤维素含量存在差异;耿树香等^[19]分析测定了云南主栽核桃的蛋白质和脂肪酸含量,发现其蛋白质含量 10.93%~21.21%,脂肪含量在 59.40%~69.86%;刘威等^[20]对 6 种薄壳山核桃的脂肪组成及营养成分进行了分析,结果表明,包括粗脂肪和蛋白质在内的 6 种营养成分在单株之间存在差异;耿树香等^[21]基于脂肪、蛋白质、微量元素、脂肪酸等营养成分对云南主栽核桃和薄壳山核桃进行综合评价,结果表明大理漾濞泡、金华、密西西比 10 号 3 个品种,可用于开发富 Fe、富 Zn、富 Ca 核桃蛋白露或蛋白粉。可见,不同品种核桃果实的营养成分存在较大差异^[22]。

前人关于核桃营养品质方面的研究主要集中于脂肪、蛋白质、脂肪酸等成分^[20,23],鲜见对矿质元素结合其他品质指标进行的综合评价。为此,本研究选取 27 个核桃品种果实,对其蛋白质、脂肪、 V_C 、9 种矿质元素的含量进行变异分析,在此基础上,采用主成分分析方法确定各个品种综合得分,结合相关性和聚类分析筛选出品质佳的核桃品种,明确综合品质评价的关键性指标,综合评价筛选出优质核桃品种,期为云南核桃品质评价体系的构建奠定理论基础,为当地核桃资源优化利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

核桃带壳干果 云南省内大理漾濞楚雄大姚等核桃主产区市售。试验收集 27 种不同品种,各 1 kg,包括 22 种核桃品种,分别为‘晚熟’‘小尖嘴’‘大木瓜’‘桐子果’‘滑皮’‘小胖诺’‘圆菠萝’‘高丰’‘大尖嘴’‘小圆果’‘漾早 1 号’‘娘青’‘四方’‘草果’‘大麻’‘细皮’‘杂果’‘漏米’‘猫头’‘香茶’‘三台’‘永平’,编号为 H1~H22 以及 5 种薄壳山核桃品种,即‘云光’‘云星’‘巧克陶’‘欧肯尼’‘卡多’,编号为 S1~S5;乙酸、硫酸、高氯酸、浓硝酸为优级纯,石油醚、硫酸铜、硫酸钾、偏磷酸、钼酸铵等均为分析纯 均购自昆明倍捷科技有限公司;内标元素储备液(1000 mg/L) 国家有色金属及电子材料分析测试中心,使用时采用二次去离子超纯水稀释配至所需浓度。

722S 分光光度计 上海菁华科教仪器公司;
OPTIMA8000 电感耦合等离子体原子发射光谱仪 美国 Perkin Elmer 公司;ED36 型石墨消解仪、SWT 2240 电子天平 北京莱伯泰科仪器有限公司;FD 115 电热鼓风干燥箱 美国 BINDER 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 将核桃干果去壳,用粉碎机将果仁粉碎均匀,在 70 °C 烘干至恒重,密闭保存,备用。

1.2.2 蛋白质含量测定 依据 GB/T 5009.5-2010 标准,准确称取 0.5 g 核桃仁样品,移入干燥的定氮瓶中,加入 0.1 g 硫酸铜、1 g 硫酸钾及 5 mL 硫酸进行

试样消解,制备试样溶液。加 4 mL 乙酸钠—乙酸缓冲溶液及 4 mL 显色剂,水浴中加热 15 min。于波长 400 nm 处测量吸光度值,通过吸光度值与标准曲线比较定量求出样品中蛋白质含量^[21]。

1.2.3 粗脂肪含量测定 依据 GB/T 5512-2008 标准,准确称取 5.0 g 核桃仁样品置于折好的滤纸筒中,放入索式提取器内,注入石油醚至虹吸管高度以上。水浴温度控制在使提取液每 6~8 min 回流 1 次,提取约 16 h。提取完毕后,在水浴上蒸干除去残余的石油醚,将提取出的脂肪烘干至恒质量,称量并计算样品粗脂肪含量^[21]。

1.2.4 维生素 C 含量测定 采用钼蓝比色法测定。准确称取核桃仁样品 10.0 g,准确加入 50 mL 草酸-EDTA 溶液将样品粉碎匀浆后搅拌提取 1 h。将匀浆经 9000 r/min 离心 10 min,过滤获得上清液。取 5 mL 上清液,依次加入 0.5 mL 偏磷酸-乙酸溶液、5% 硫酸和 5% 钼酸铵,混匀后于 30 ℃ 水浴 15 min,冷却后于 4000 r/min 离心 10 min,上清液于 760 nm 出测定吸光度,根据 V_C 标准曲线计算 V_C 含量^[24]。

1.2.5 矿质元素含量测定 依据 NY/T 1653-2008 标准,通过电感耦合等离子体原子发射光谱仪,测试核桃仁中 K、P、Ca、Mg、Zn、Mn、Fe、Cu、Na 含量。准确称取 0.5 g 粉碎好的核桃仁样品,于 40 mL 瓷坩埚内,置可调温电热板上炭化完全后,转入马福炉中,550 ℃ 灰化 4 h,取出冷却至室温,用 5 mL 硝酸溶液溶解残渣,煮沸,转入 50 mL 容量瓶中,用硝酸溶液定容,混匀。取样液直接测定各元素含量^[25]。

1.3 数据处理

数据处理采用 Excel 2019、SPSSAU 在线软件、OriginPro 2018 软件对试验数据进行分析处理,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($P<0.05$),主成分分析使用 SPSSAU 在

线软件及 OriginPro 软件,聚类分析使用 OriginPro 2018 软件的“统计-多变量分析-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 不同品种云南核桃果仁营养指标含量分析

矿质元素、蛋白质、粗脂肪、维生素都是评价核桃品质的重要营养指标。对 27 种云南核桃果实中的磷(P)、钾(K)、锌(Zn)、铁(Fe)、锰(Mn)、镁(Mg)、钙(Ca)、铜(Cu)、钠(Na)元素、蛋白质、粗脂肪、维生素 C(V_C)的含量进行分析(表 1,表 2),结果表明,测定的 9 种矿质元素,含量排在前三的为 K、P、Mg,变化范围分别介于 3430~7370、2230~6780、1000~1980 mg/kg 之间;Ca 含量在 379 mg/kg 至 999 mg/kg 之间。27 个品种中 K、P、Mg、Ca 含量最高的分别为‘晚熟核桃’‘香茶核桃’、薄壳山核桃‘卡多’‘永平核桃’。Na 元素含量最高为薄壳山核桃品种‘欧肯尼亚’(126 mg/kg),最低为‘香茶核桃’(10.3 mg/kg),波动范围最大。其余微量元素含量从高到低排列依次为 $Mn>Fe>Zn>Cu$, Mn 和 Cu 的含量波动较大, Mn 含量最高的是‘猫头核桃’,为 202 mg/kg, Cu 含量最高的是‘四方核桃’,为 22.6 mg/kg; Fe 和 Zn 的含量分别在 43.2~22.4 mg/kg 和 36.8~13.6 mg/kg 之间变化,含量最高的分别为‘小圆果核桃’和薄壳山核桃‘巧克陶’。27 种核桃果实中 9 种矿质元素含量介于 6.96~7370 mg/kg 之间,各元素含量均值分别为 3887.89、4927.41、25.50、31.43、78.96、1636.93、683.15、15.74、44.57 mg/kg。9 种矿质元素变异系数由高到底依次为 Na、Cu、Mn、P、Zn、Ca、K、Fe、Mg。Fe 和 Mg 元素含量的变异系数较小,在 20% 以下,说明 Fe 和 Mg 元素含量在 27 个核桃品种间稳定,Na、Mn、Cu 等 5 种微量元素含量种间变异较大。

表 1 云南不同核桃品种的果仁营养成分含量
Table 1 Nutrients content of different walnut and pecan varieties in Yunnan Province

编号	磷(P, mg/kg)	钾(K, mg/kg)	锌(Zn, mg/kg)	铁(Fe, mg/kg)	锰(Mn, mg/kg)	镁(Mg, mg/kg)
H1	4760.00±90.00 ^b	7370.00±88.00 ^a	30.60±0.50 ^c	37.00±0.32 ^d	82.60±3.00 ^s	1820.00±13.00 ^f
H2	4760.00±82.00 ^b	4700.00±65.00 ^k	25.40±0.31 ^h	33.40±0.33 ^h	55.80±2.00 ^k	1910.00±11.00 ^{cd}
H3	4560.00±79.00 ^{de}	5260.00±60.00 ^s	20.70±0.30 ^m	28.40±0.25 ^l	69.20±2.21 ^{ij}	1880.00±14.00 ^e
H4	3030.00±55.00 ^k	4100.00±55.00 ⁿ	13.60±0.21 ^p	22.40±0.18 ^q	17.60±0.62 ⁿ	1380.00±10.10 ⁿ
H5	4500.00±87.00 ^{def}	6870.00±80.00 ^b	22.40±0.32 ^k	35.60±0.26 ^c	32.20±1.00 ^{lm}	1910.00±12.10 ^{cd}
H6	4000.00±70.00 ^h	4360.00±50.00 ^m	21.00±0.35 ^{lm}	33.40±0.28 ^h	65.30±2.35 ^j	1640.00±11.50 ^l
H7	2300.00±43.00 ^o	3430.00±45.00 ^f	16.70±0.26 ^o	24.80±0.21 ^o	55.60±2.05 ^k	1000.00±6.48 ^s
H8	3950.00±73.00 ^h	4400.00±52.00 ^m	19.40±0.31 ⁿ	35.40±0.34 ^{ef}	77.60±2.79 ^{gh}	1720.00±12.95 ^j
H9	4500.00±85.00 ^{def}	5360.00±72.00 ^f	25.10±0.41 ^{hi}	34.40±0.36 ^s	114.00±4.29 ^d	1900.00±13.88 ^d
H10	4480.00±78.00 ^{ef}	5940.00±76.00 ^d	24.00±0.38 ^l	43.20±0.43 ^a	96.70±3.59 ^f	1920.00±15.84 ^c
H11	4180.00±80.00 ^s	4440.00±56.00 ^m	25.20±0.39 ^h	35.10±0.31 ^f	106.00±3.80 ^e	1780.00±13.25 ^s
H12	3620.00±64.00 ^j	3880.00±51.50 ^p	21.60±0.32 ^l	37.40±0.39 ^d	99.40±3.71 ^f	1570.00±11.45 ^l
H13	4580.00±84.00 ^{de}	4550.00±57.00 ^l	30.10±0.48 ^c	34.00±0.31 ^s	79.60±2.79 ^s	1920.00±14.42 ^c
H14	4420.00±81.00 ^f	5280.00±66.00 ^{gs}	20.90±0.29 ^m	31.00±0.31 ^j	29.80±0.74 ^{lm}	1820.00±11.95 ^f
H15	2640.00±47.00 ^m	3830.00±48.00 ^p	32.40±0.49 ^d	24.00±0.20 ^p	125.00±4.75 ^c	1210.00±8.39 ^q
H16	4540.00±77.00 ^{de}	4900.00±61.00 ^j	27.00±0.18 ^g	32.00±0.14 ⁱ	56.80±1.77 ^k	1720.00±9.43 ⁱ
H17	3920.00±67.00 ^h	6300.00±81.00 ^c	19.50±0.10 ⁿ	26.50±0.12 ^m	96.60±3.78 ^f	1740.00±10.45 ^h

续表 1

编号	磷(P, mg/kg)	钾(K, mg/kg)	锌(Zn, mg/kg)	铁(Fe, mg/kg)	锰(Mn, mg/kg)	镁(Mg, mg/kg)
H18	3760.00±69.00 ⁱ	5160.33±71.50 ^h	19.30±0.30 ⁿ	28.70±0.30 ^l	28.60±1.25 ^m	1540.00±9.60 ^m
H19	3660.00±63.00 ^{ji}	4160.00±53.00 ⁿ	25.50±0.40 ^h	29.80±0.24 ^k	202.00±8.19 ^a	1380.00±9.65 ⁿ
H20	6780.00±20.00 ^a	5060.00±32.00 ⁱ	33.60±0.57 ^c	42.20±0.35 ^b	94.80±0.77 ^f	1960.00±10.67 ^b
H21	2230.00±41.00 ^o	5800.00±78.00 ^e	21.60±0.34 ^l	39.00±0.41 ^c	73.00±1.62 ^{hi}	1600.00±10.35 ^k
H22	4603.00±15.00 ^{cd}	4440.00±22.00 ^m	28.70±0.48 ^f	31.97±0.27 ⁱ	70.43±2.59 ^{ij}	1817.00±10.85 ^f
S1	2480.00±42.00 ⁿ	3610.00±39.00 ^q	35.20±0.26 ^b	22.50±0.17 ^q	70.40±2.48 ^{ij}	1160.00±8.02 ^r
S2	2680.00±46.00 ^m	4120.00±47.00 ⁿ	33.00±0.56 ^{cd}	23.70±0.24 ^p	34.20±1.32 ^l	1240.00±8.24 ^p
S3	2880.00±50.00 ^l	4760.00±58.00 ^k	36.80±0.62 ^a	25.00±0.23 ^o	114.00±3.94 ^d	1380.00±8.75 ⁿ
S4	2490.00±44.00 ⁿ	4000.00±54.00 ^o	34.60±0.55 ^b	25.60±0.22 ⁿ	131.00±4.53 ^b	1300.00±8.53 ^o
S5	4670.00±34.00 ^{bc}	6959.67±42.50 ^b	24.50±0.15 ^{ij}	32.20±0.19 ⁱ	53.80±1.84 ^k	1980.00±9.35 ^a

编号	钙(Ca, mg/kg)	铜(Cu, mg/kg)	钠(Na, mg/kg)	蛋白质(%)	粗脂肪(%)	V _C (mg/100 g)
H1	736.00±11.30 ^b	17.30±0.40 ^f	55.30±2.20 ^{bcd}	16.60±0.17 ⁱ	59.52±0.06 ^p	6.00±0.29 ^f
H2	610.00±10.00 ^k	14.20±0.30 ^j	15.80±0.63 ^{kl}	18.80±0.16 ^c	65.06±0.18 ^m	2.70±0.03 ^{hi}
H3	650.00±10.10 ^j	13.00±0.28 ^k	20.20±0.80 ^{ijkl}	15.30±0.21 ^l	69.45±0.07 ^{gh}	2.70±0.08 ^{hi}
H4	492.00±7.50 ^{mn}	6.96±0.15 ^p	26.40±1.05 ^{ghijkl}	14.80±0.24 ⁿ	69.68±0.27 ^{fg}	7.00±0.35 ^e
H5	860.00±13.10 ^d	16.20±0.35 ^{gh}	66.80±2.60 ^{bcd}	13.90±0.12 ^o	70.08±0.49 ^e	9.00±0.45 ^{cd}
H6	728.00±11.10 ^b	21.50±0.45 ^b	29.20±1.15 ^{fghijkl}	16.60±0.18 ⁱ	68.36±0.08 ⁱ	9.70±0.47 ^c
H7	508.00±8.00 ^m	12.20±0.26 ^j	63.10±2.40 ^{bcd}	15.10±0.14 ^{lm}	64.97±0.28 ^m	2.70±0.13 ^{hi}
H8	894.00±13.00 ^c	15.20±0.34 ⁱ	49.00±1.95 ^{cdef}	18.20±0.10 ^{de}	68.14±0.11 ^{ij}	2.00±0.09 ^{ij}
H9	610.00±9.10 ^k	22.10±0.49 ^a	33.60±1.30 ^{efghijk}	17.20±0.11 ^{fg}	68.20±0.22 ^{ij}	2.70±0.11 ^{hi}
H10	756.00±11.20 ^g	18.20±0.37 ^c	52.00±1.98 ^{cde}	18.20±0.20 ^{de}	65.86±0.12 ^l	3.70±1.85 ^g
H11	944.00±14.10 ^b	20.14±0.43 ^c	29.10±1.16 ^{fghijkl}	16.00±0.3 ^{jk}	70.87±0.24 ^d	3.30±0.15 ^{gh}
H12	608.00±9.20 ^k	19.60±0.44 ^{cd}	23.20±0.91 ^{hijkl}	17.10±0.35 ^{gh}	66.82±0.39 ^k	2.69±0.09 ^{hi}
H13	724.00±11.00 ^b	22.60±0.47 ^a	14.00±0.55 ^{kl}	17.40±0.15 ^f	69.11±0.21 ^h	3.30±0.14 ^{gh}
H14	636.00±9.40 ^j	18.20±0.41 ^c	27.60±1.10 ^{fghijkl}	16.90±0.13 ^h	69.66±0.25 ^{fg}	2.00±0.10 ^{ij}
H15	678.00±10.50 ^j	7.94±0.17 ^o	22.60±0.90 ^{ijkl}	10.80±0.09 ^q	73.55±0.30 ^b	6.00±0.29 ^f
H16	790.00±12.10 ^f	12.40±0.25 ^j	48.10±1.90 ^{defg}	18.10±0.25 ^c	67.10±0.31 ^k	4.00±0.19 ^g
H17	606.00±9.60 ^k	16.70±0.36 ^g	122.00±4.80 ^a	14.90±0.26 ^{mn}	63.46±0.29 ^o	4.00±0.17 ^g
H18	618.00±9.50 ^k	13.30±0.29 ^k	45.00±1.75 ^{defgh}	15.00±0.31 ^{mn}	70.23±0.52 ^e	3.30±0.16 ^{gh}
H19	807.00±12.40 ^f	19.40±0.39 ^d	40.70±1.60 ^{efghi}	16.20±0.08 ^j	69.97±0.47 ^{ef}	2.70±0.13 ^{hi}
H20	986.00±14.20 ^a	22.60±0.48 ^a	10.30±4.10 ^l	19.40±0.27 ^b	66.97±0.16 ^k	13.90±0.69 ^b
H21	840.00±12.00 ^e	15.80±0.33 ^h	37.40±14.50 ^{efghij}	15.80±0.14 ^k	70.95±0.28 ^d	8.40±0.39 ^d
H22	999.00±14.00 ^a	18.13±0.38 ^c	35.00±13.80 ^{efghijk}	19.87±0.36 ^a	67.96±0.37 ^j	17.00±0.78 ^a
S1	379.00±6.00 ^q	9.73±0.20 ^m	28.00±11.00 ^{ghijkl}	10.20±0.09 ^r	75.59±0.44 ^a	1.30±0.06 ^j
S2	460.00±7.00 ^p	12.20±0.27 ^j	39.30±15.10 ^{efghi}	10.40±0.23 ^r	73.05±0.36 ^c	2.00±0.09 ^{ij}
S3	482.00±7.30 ^{no}	8.70±0.18 ⁿ	67.60±26.00 ^{bc}	11.40±0.11 ^p	70.61±0.31 ^d	2.00±0.05 ^{ij}
S4	470.00±7.40 ^{op}	8.54±0.19 ⁿ	126.00±49.00 ^a	9.25±0.18 ^s	73.72±0.42 ^b	1.30±0.06 ^j
S5	574.00±8.70 ^l	22.20±0.50 ^a	76.00±30.00 ^b	18.40±0.32 ^d	64.06±0.38 ⁿ	1.30±0.04 ^j

注: 同列不同小写字母代表 $P<0.05$ 水平差异显著。

表 2 云南不同核桃品种果实矿质元素、蛋白质、脂肪含量变异分析

指标	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Na (mg/kg)	蛋白质 (%)	粗脂肪 (%)	V _C (mg/100 g)
最大值	6780	7370	36.8	43.2	202	1980	999	22.6	126	19.87	75.59	17
最小值	2230	3430	13.6	22.4	17.6	1000	379	6.96	10.3	9.25	59.52	1.3
平均值	3887.89	4927.41	25.5	31.43	78.96	1636.93	683.15	15.74	44.57	15.62	68.63	4.66
标准差	1017.71	1025.58	6	5.74	38.51	279.14	165.06	4.74	28.11	2.89	3.42	3.85
CV(%)	26	21	24	18	49	17	24	30	63	18	5	83

人和动物都不能自身合成维生素, 必须从植物中摄入, 以满足正常的生长和代谢。27 种核桃中 V_C 含量最高的是永平核桃, 达 17 mg/100 g, 含量最低的为薄壳山核桃‘云光’, 仅有 1.3 mg/100 g, 其他核桃的 V_C 含量在这个范围内波动, 变异系数为 83%; 蛋白质含量的变化区间为 9.25%~19.87%, 最高为‘永

平核桃’, 其次是‘香茶核桃’, 与前者仅相差 0.5%; 粗脂肪含量最高的是薄壳山核桃‘云光’, 为 75.59%, ‘晚熟核桃’最低, 与‘云光’的相差 16%, 变异系数仅为 5%。粗脂肪在不同品种间含量稳定, V_C 在品种间的含量变化较大。27 个品种核桃中蛋白质、粗脂肪、V_C 含量均值分别为 15.6%、68.63%、4.66 mg/100 g。

表 3 云南不同核桃品种果实 12 个营养指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis of 12 nutrition indicators of different varieties walnut and pecan in Yunnan Province

指标	P	K	Zn	Fe	Mn	Mg	Ca	Cu	Na	蛋白质	粗脂肪	V _C
P	1											
K	0.471*	1										
Zn	0.004	-0.118	1									
Fe	0.647**	0.468*	-0.089	1								
Mn	-0.057	-0.181	0.386*	0.089	1							
Mg	0.858**	0.670**	-0.138	0.731**	-0.132	1						
Ca	0.581**	0.246	-0.08	0.706**	0.165	0.564**	1					
Cu	0.671**	0.375	-0.12	0.725**	0.154	0.693**	0.543**	1				
Na	-0.27	0.305	0.021	-0.242	0.154	-0.153	-0.266	-0.217	1			
蛋白质	0.741**	0.312	-0.386*	0.714**	-0.098	0.737**	0.632**	0.710**	-0.342	1		
粗脂肪	-0.526**	-0.564**	0.324	-0.451*	0.09	-0.505**	-0.217	-0.449*	-0.156	-0.668**	1	
V _C	0.361	0.104	0.023	0.318	-0.118	0.248	0.630**	0.231	-0.241	0.345	-0.108	1

注: *表示在0.05水平上显著, $P<0.05$; **表示在0.01水平上极显著, $P<0.01$ 。

22种主栽核桃和 1 种薄壳山核桃的蛋白质含量达到 GB/T 20398-2006《核桃坚果质量等级标准》中的特级标准(蛋白质 $\geq 14\%$), 23 个核桃品种的脂肪含量达到特级标准(脂肪 $\geq 65\%$)。

2.2 不同品种云南核桃 12 个营养指标相关性分析

运用皮尔逊相关系数法对 12 个营养指标间的相关性进行分析, 分析结果见表 3, 其中有 6 对指标间的相关性达到显著水平($P<0.05$), 21 对指标间的相关性达到极显著水平($P<0.01$), 说明评价指标之间具有较强的相关性。对果实核仁 12 个营养指标进行相关性分析, P 与 Fe、Mg、Ca、Cu、蛋白质含量呈极显著正相关($P<0.01$), 与 K 含量呈显著正相关($P<0.05$); K 与 Mg 含量呈极显著正相关($P<0.01$), 与 Fe 呈显著正相关($P<0.01$); Fe 与 Mg、Ca、Cu、蛋白质含量呈极显著正相关($P<0.01$); Mg 与 Ca、Cu、蛋白质含量呈极显著正相关($P<0.01$); Ca 与 Cu、蛋白质含量呈极显著正相关($P<0.01$); Cu 与蛋白质含量呈极显著正相关($P<0.01$); Mn 仅与 Zn 含量呈显著正相关($P<0.05$); Zn 与蛋白质含量呈显著负相关($P<0.05$); 粗脂肪与 P、K、Mg、蛋白质呈极显著负相关($P<0.01$), 与 Fe 和 Cu 元素呈显著负相关($P<0.05$); V_C 仅与 Ca 呈极显著正相关($P<0.01$); Na 与其他 11 个营养指标均无显著相关性。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。蛋白质与 5 种矿质元素呈极显著正相关, 脂肪与 5 种元素和蛋白质呈显著或极显著负相关, 以上品种的云南核桃是富含 P、Fe、Mg、Ca、Cu 元素的高蛋白低油脂核桃资源。

2.3 核桃果仁 12 个营养指标的主成分分析与综合评价

主成分分析法用少数变量尽可能多地反映原来变量的信息, 一般认为累积方差贡献率大于 85%, 就可以保留大部分重要信息^[25]。对 12 个营养指标进行主成分分析, 前 5 个成分的累积贡献率达 86.39%,

说明提取 5 个成分可以反映 27 种核桃果实品质评价的主要信息(表 4)。第 1 主成分特征值为 5.379, 蛋白质含量、粗脂肪含量以及矿质元素 Mg、P、Fe、Ca、Cu、K 含量的载荷值较大, 方差贡献率为 44.82%; 第 2 主成分特征值为 1.743, Na 和 K 元素含量、粗脂肪含量、V_C 含量载荷值较大, 方差贡献率为 14.52%; 第 3 主成分特征值为 1.450, Zn、Mn 元素含量的载荷值较大, 方差贡献率为 12.08%; 第 4 主成分中 V_C 含量的载荷值较大, 方差贡献率为 8.02%; 第 5 主成分中矿质元素 Zn 和 Na 含量的载荷值较大, 方差贡献率为 6.94%。5 个主成分中营养指标的载荷值正值越大, 表明此指标对该主成分的影响是正向的, 载荷值负值的绝对值越大, 说明负向的影响越大。

表 4 云南不同核桃品种 12 个营养指标载荷值和贡献率
Table 4 Eigenvalues and cumulative variance proportion of 12 nutrition indicators of different varieties walnut and pecan in Yunnan Province

指标	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅
P	0.87	0.064	0.066	0.062	-0.277
K	0.582	-0.558	0.284	0.351	-0.128
Zn	-0.227	0.468	0.607	0.298	-0.425
Fe	0.856	0.133	0.138	-0.086	0.01
Mn	-0.063	0.399	0.742	-0.368	0.299
Mg	0.895	-0.13	0.08	0.064	-0.269
Ca	0.745	0.429	0.025	0.159	0.331
Cu	0.81	0.097	0.163	-0.286	-0.04
Na	-0.252	-0.604	0.544	0.235	0.358
蛋白质	0.893	-0.002	-0.211	-0.246	0.095
粗脂肪	-0.648	0.521	-0.072	0.117	-0.16
V _C	0.449	0.43	-0.221	0.602	0.350
特征根	5.379	1.743	1.450	0.963	0.833
方差贡献率(%)	44.82	14.52	12.08	8.02	6.94
累积贡献率(%)	44.82	59.35	71.43	79.45	86.39

用 Z₁、Z₂、Z₃、Z₄、Z₅ 分别代表这 5 个主成分, X₁、X₂、X₃、...、X₁₀、X₁₁、X₁₂ 分别代表 12 个指标, 可得到如下的线性方程:

$$Z_1=0.375X_1+0.251X_2-0.098X_3+0.369X_4-0.027X_5+0.386X_6+0.321X_7+0.349X_8-0.109X_9+0.385X_{10}-0.279X_{11}+0.194X_{12}$$

$$Z_2=0.048X_1-0.423X_2+0.354X_3+0.100X_4+0.303X_5-0.099X_6+0.325X_7+0.074X_8-0.457X_9-0.002X_{10}+0.395X_{11}+0.326X_{12}$$

$$Z_3=0.054X_1+0.236X_2+0.504X_3+0.114X_4+0.616X_5+0.066X_6+0.021X_7+0.136X_8+0.451X_9-0.175X_{10}-0.060X_{11}-0.184X_{12}$$

$$Z_4=0.064X_1+0.358X_2+0.304X_3-0.088X_4-0.375X_5+0.065X_6+0.162X_7-0.292X_8+0.239X_9-0.250X_{10}+0.119X_{11}+0.614X_{12}$$

$$Z_5=-0.303X_1-0.140X_2-0.466X_3+0.011X_4+0.328X_5-0.295X_6+0.363X_7-0.044X_8+0.393X_9+0.105X_{10}-0.175X_{11}+0.384X_{12}$$

同时,分别以第 1、2、3、4、5 主成分对应方差贡献率 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 作为权数,构建的综合(综合得分值)评价模型为: $C=a_1Z_1+a_2Z_2+a_3Z_3+a_4Z_4+a_5Z_5$ 。将 27 个不同品种山核桃果仁中 12 种营养指标的试验数据代入对应的表达式中,得到各品种核桃仁的综合得分值见表 5。

通过综合得分对 27 种核桃进行综合评价,综合得分排名前三的依次为‘香茶核桃’‘永平核桃’‘晚熟核桃’,之后依次为‘小圆果核桃’‘滑皮核桃’‘漾早 1 号核桃’‘四方核桃’、薄壳山核桃‘卡多’等。

2.4 不同品种核桃果实中 12 个营养指标的聚类分析

聚类分析是将样本划分为不同的类群进行相似性评价,可以综合、客观和科学的体现研究对象之间的关系^[26-27]。采用欧氏距离离差平方和方法,以 12 个营养指标主成分分析的综合得分值对 27 种

表 5 云南不同核桃品种的果仁品质综合得分及排序

Table 5 Comprehensive scoring values and ranking of different varieties walnut and pecan in Yunnan Province

品种	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	综合得分	排序
H1	2.515	-1.558	1.480	0.929	-0.249	1.316	3
H2	1.236	-0.386	-0.818	-0.691	-1.128	0.307	14
H3	0.171	-0.379	-0.809	-0.209	-0.84	-0.175	19
H4	-2.203	-0.833	-3.047	0.404	0.571	-1.626	23
H5	1.562	-0.801	-0.114	2.201	0.104	0.873	5
H6	1.073	0.709	-1.032	-0.046	0.647	0.579	10
H7	-2.592	-1.316	-1.434	-1.058	1.67	-1.731	24
H8	0.950	-0.057	-0.483	-0.887	0.804	0.398	12
H9	1.358	-0.021	0.768	-1.154	-0.662	0.648	9
H10	2.348	-0.646	0.891	-0.609	-0.042	1.174	4
H11	1.078	1.374	0.325	-0.756	0.166	0.779	6
H12	0.445	0.356	-0.353	-1.847	0.228	0.088	16
H13	1.449	1.015	0.122	-0.815	-1.273	0.761	7
H14	0.711	-0.721	-1.183	-0.381	-1.077	-0.039	17
H15	-3.357	2.054	0.308	0.537	0.272	-1.281	21
H16	0.732	-0.191	-0.281	0.296	-0.161	0.323	13
H17	0.169	-2.896	1.422	0.399	1.35	-0.055	18
H18	-0.740	-0.961	-1.328	0.248	-0.195	-0.724	20
H19	-0.416	1.656	1.746	-1.931	1.403	0.24	15
H20	4.343	2.560	0.444	1.046	-0.42	2.809	1
H21	0.457	0.433	-0.483	0.677	1.164	0.399	11
H22	2.405	2.043	-0.754	1.777	1.276	1.753	2
S1	-4.573	1.074	-0.098	0.160	-1.443	-2.307	27
S2	-3.579	0.247	-0.424	0.612	-1.275	-1.92	26
S3	-3.188	0.067	1.688	0.582	-0.56	-1.398	22
S4	-4.380	-0.265	2.597	0.664	0.525	-1.85	25
S5	2.023	-2.555	0.850	-0.148	-0.854	0.656	8

核桃进行聚类分析(图 1),结果显示 27 种核桃聚为 2 个大群组(I 和 II),排名前 19 的聚类在群组 I 中,其中‘香茶核桃’单独聚为 1 个小类,‘香茶核桃’的 P、Cu 含量是最高的, Mg、Ca、蛋白质、V_C 含量也较高,综合表现最好;其次为综合排名 2~4 的‘永平核

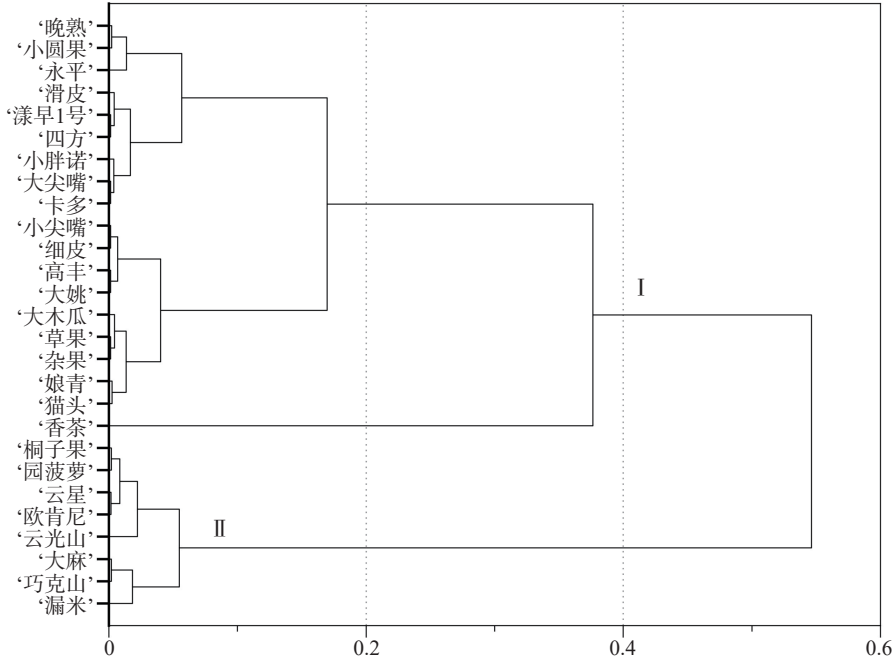


图 1 云南不同核桃品种品质聚类分析

Fig.1 Quality clustering analysis of different varieties walnut and pecan in Yunnan Province

桃’‘晚熟核桃’‘小圆果核桃’聚为 1 个小类, ‘永平核桃’的 Ca、蛋白质、V_C 含量最高, ‘晚熟核桃’的 K 含量是最高的, ‘小圆果核桃’Fe 含量最高, Mg 含量也较高, 这 3 个品种的综合表现仅次‘香茶核桃’; 其余的 15 种核桃聚在 3 个小类中。在群组 II 中, 聚集了综合品 4 的‘永平核桃’‘晚熟核桃’‘小圆果核桃’聚为 1 个小类, ‘永平核桃’的 Ca、蛋白质、V_C 含量最质稍差的 4 种薄壳山核桃和 4 种主栽核桃(‘大麻’‘圆菠萝’‘桐子果’‘漏米’), 这 8 个品种的脂肪含量较高, V_C 含量均较低, 其中 4 种薄壳山核桃(‘云星’‘云光’‘欧肯尼亚’‘巧克陶’)的 P、K、Mg、Ca 元素的含量都较低。由此表明, 群组 I 中均为高 K、Fe、Mg、Cu、Ca 元素及高蛋白核桃品种, 适合直接食用或开发富含矿质元素的蛋白饮料。群组 II 中平均脂肪含量为 71.24%, 为典型的高脂肪核桃品种。此外, 薄壳山核桃的脂肪含量均较高, 是优良的油脂资源。结合相关性分析和主成分分析的结果, 同时考虑品质指标可标准化检测, 以便客观准确的对云南不同品种核桃果实品质进行评价, 最终选用 K、Fe、Mg、Ca、Cu、蛋白质、粗脂肪为评价云南不同品种核桃果实品质优劣的关键性指标, 可对云南核桃进行综合全面的品质评价。

3 结论

27 种核桃果实中的矿质元素含量在 6.96~7370 mg/kg, 其中 P、K、Mg、Ca 的含量较高, 其余微量元素含量依次为: Mn>Na>Fe>Zn>Cu, 蛋白质、脂肪的平均含量分别为 15.62%、68.63%, V_C 的平均含量为 4.66 mg/100 g。12 个营养指标中, Na 元素和 V_C 的变异系数较大(>60%), Mg 元素和蛋白质变异系数较小, 分别为 17%、18%, 脂肪变异系数最小, 为 5%。皮尔逊相关性分析结果显示, 12 个营养指标之间有较强的相关性, 结合主成分分析和聚类分析结果, 最终确定 K、Fe、Mg、Ca、Cu、蛋白质、脂肪为评价云南不同品种核桃果实品质优劣的关键性指标。同时, 基于上述营养指标筛选出的核桃资源将为今后特征品质发掘和种质改良提供研究基础和物质材料。

本研究采用主成分分析和聚类分析对云南核桃主产区收集的 27 个不同品种核桃果实, 对 12 项营养指标进行系统分析, 最终将其分为两大类富含矿质元素类群和高脂肪含量类群, 明确了 K、Fe、Mg、Ca、Cu、蛋白质、脂肪为核桃果实品质评价的关键性指标, 该结果为云南核桃营养品质评价体系的构建与核桃产业的高质量发展奠定了理论基础。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] 刘警, 于秋香, 李扬, 等. 我国核桃生产的现状、问题及发展对

- 策[J]. 北方果树, 2020, 5(6): 38-41. [LIU J, YU Q X, LI Y, et al. Current situation, problems and development countermeasures of walnut production in China[J]. Northern Fruits, 2020, 5(6): 38-41.]
- [2] 孟佳, 方晓璞, 史宣明, 等. 我国核桃产业发展现状、问题与建议[J]. 中国油脂, 2023, 48(1): 84-86, 103. [MENG J, FANG X P, SHI X M, et al. Situation, problems and suggestion on the development of walnut industry in China[J]. China Oils and Fats, 2023, 48(1): 84-86, 103.]
- [3] 杨建华, 习学良, 李淑芳, 等. 漾濞县核桃古树资源开发利用现状[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(8): 99-100. [YANG J H, XI X L, LI S F, et al. Resources and utilization of walnut ancient tree in Yangbi County[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(8): 99-100.]
- [4] 余红红, 李娅. 云南省核桃产业精准扶贫效果研究[J]. 林业经济问题, 2019, 39(5): 537-543. [YU H H, LI Y. Study on the effect of accurate poverty alleviation of walnut industry in Yunnan Province[J]. Issues of Forestry Economics, 2019, 39(5): 537-543.]
- [5] 万梦丽. 民族地区农产品区域公用品牌建设实践与思考——以云南“漾濞核桃”为例[J]. 农产品质量与安全, 2023(2): 84-88, 99. [WAN M L. Practice and reflection on the construction of public brands for agricultural products in ethnic regions: taking the "Yangbi Walnut" in Yunnan as an example[J]. Quality and Safety of Agricultural Products, 2023(2): 84-88, 99.]
- [6] 李源, 马文强, 朱占江, 等. 新疆核桃产业发展现状及对策建议[J]. 农业学报, 2019, 9(7): 80-86. [LI Y, MA W Q, ZHU Z J, et al. Current situation and countermeasures for the development of Xinjiang walnut industry[J]. Journal of Agriculture, 2019, 9(7): 80-86.]
- [7] 孙树杰, 王兆华, 宋康, 等. 核桃营养价值及功能活性研究进展[J]. 中国食物与营养, 2013, 19(5): 72-74. [SUN S J, WANG Z H, SONG K, et al. Research advancement on nutritional value and functional activity of walnut[J]. Food and Nutrition in China, 2013, 19(5): 72-74.]
- [8] KAFKAS E, ATTAR S H, GUNDESLI M A, et al. Phenolic and fatty acid profile, and protein content of different walnut cultivars and genotypes (*Juglans regia* L.) grown in the USA[J]. International Journal of Fruit Science, 2020, 20: 1-10.
- [9] RABADÁN A, ÁLVAREZ O, PARDO J E. A comparison of the effect of genotype and weather conditions on the nutritional composition of most important commercial nuts[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 244: 218-224.
- [10] 李时珍. 本草纲目[M]. 王育杰整理, 中册. 北京: 人民卫生出版社, 1999: 50. [LI S Z. Compendium of Materia Medica[M]. Finished by WANG Yujie, Vol., Beijing: People's Medical Publishing House, 1999: 50.]
- [11] 张亭, 杜倩, 李勇. 核桃的营养成分及其保健功能的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2018, 24(7): 64-69. [ZHANG T, DU Q, LI Y. Nutritional component and health functions of walnuts[J]. Food and Nutrition in China, 2018, 24(7): 64-69.]
- [12] 李夏, 陈杭君, 夏巍, 等. 体外模拟消化对核桃主成分代谢及抗氧化特性的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(6): 29-40. [LI X, CHEN H J, XIA W, et al. Effects of simulated digestion *in vitro* on the principal component metabolism and antioxidant properties of walnut[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(6): 29-40.]
- [13] 吴霜, 姚小华, 常君, 等. 21 个浙江山核桃无性系果实矿质营养特征分析[J]. 果树学报, 2022, 39(5): 800-810. [WU S,

- YAO X H, CHANG J, et al. Characteristics of fruit mineral nutrition of 21 *Carya cathayensis* clones in Zhejiang Province[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(5): 800–810.]
- [14] 娄向鹏. 农产品品牌建设的思考[J]. 农产品质量与安全, 2021(5): 5–8, 16. [LOU X P. Reflections on brand building of agricultural products[J]. Quality and Safety of Agricultural Products, 2021(5): 5–8, 16.]
- [15] 封斌奎. 核桃营养保健功能与加工技术研究进展[J]. 陕西林业科技, 2015(1): 10–13. [FENG B K. Reserch on the progress of nutrition and health care of walnut[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2015(1): 10–13.]
- [16] 邓加林, 潘庆牧, 刘安莹. 国内 16 个核桃品种主要营养成分特性研究[J]. 食品与发酵科技, 2023, 59(3): 111–115. [DENG J L, PAN Q M, LIU A X. Analysis on nutritional composition of 16 domestic walnut varieties[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2023, 59(3): 111–115.]
- [17] 耿树香, 宁德鲁, 陈海云, 等. 云南主栽核桃品种功能成分综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(2): 209–215. [GENG S X, NING D L, CHEN H Y, et al. Comprehensive evaluation and analysis of nutrient contents of the main walnut varieties in Yunnan[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2019, 43(2): 209–215.]
- [18] 苏为耿, 蒲成伟, 阚欢, 等. 云南 6 种核桃栽培品种果实特性与营养成分分析[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(4): 68–71. [SU W G, PU C W, KAN H, et al. Analysis of fruit characteristics and nutrient composition of six Walnut Cultivars in Yunnan[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(4): 68–71.]
- [19] 耿树香, 宁德鲁, 韩明珠, 等. 云南核桃主要栽培品种蛋白质及脂肪酸综合评价分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(10): 116–120, 141. [GENG S X, NING D L, HAN M Z, et al. Comprehensive evaluation on protein and fatty acid of main cultivars of walnut Yunnan province[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(10): 116–120, 141.]
- [20] 刘威, 刘旭, 蔡卫佳, 等. 六个薄壳山核桃单株果实脂肪酸组成和营养成分比较分析[J]. 北方园艺, 2022(23): 46–53. [LIU W, LIU X, CAI W J, et al. Comparative analysis of fatty acid composition and nutritional components of six individuals of *carya illinoensis*[J]. Northern Horticulture, 2022(23): 46–53.]
- [21] 耿树香, 宁德鲁, 李勇杰, 等. 云南省主栽核桃与美国山核桃品种营养成分分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(6): 193–198. [GENG S X, NING D L, LI Y J, et al. A comparative study on quality characteristics of main walnut and pecan varieties in Yunnan Province[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2017, 41(6): 193–198.]
- [22] 徐梦婷, 王强, 郝艳宾, 等. 基于主成分分析的核桃品种油用性状综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 235–242. [XU M T, WANG Q, HAO Y B, et al. Comprehensive evaluation of oil-use traits of walnut varieties based on principal component analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(2): 235–242.]
- [23] 常君, 任华东, 姚小华, 等. 41 个薄壳山核桃品种果实营养成分与脂肪酸组成的比较分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(2): 20–30. [CHANG J, REN H D, YAO X H, et al. A comparative analysis of nutritional components and fatty acid composition of 41 pecan varieties[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43(2): 20–30.]
- [24] 蒋江照. 平欧杂种榛(*C. heterophylla*×*C. avellana*)种仁发育及营养成分评价[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2021. [JIANG J Z. Evaluation of the development and nutritional components of *C. heterophylla*×*C. avellana*: [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2019.]
- [25] 努尔买买提·阿布地热木, 焦灰敏, 周小魏, 等. 新疆核桃及后代坚果矿物质营养元素分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 186–192. [NUERMAIMAITI A, JIAO H M, ZHOU X H, et al. Analysis of nutrient elements in Xinjiang walnut and its offspring nuts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13): 186–192.]
- [26] 刘丙花, 孙锐, 王开芳, 等. 不同蓝莓品种果实品质比较与综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 70–76. [LIU B H, SUN R, WANG K F, et al. Comparison and comprehensive evaluation of fruit quality of different blueberry (*Vaccinium* spp.) varieties[J]. Food Science, 2019, 40(1): 70–76.]
- [27] 朱周俊, 袁德义, 邹锋, 等. 不同锥栗农家种种仁中 9 种矿物质元素含量的因子分析与聚类分析[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 165–170. [ZHU Z J, YUAN D Y, ZOU F, et al. Factor analysis and cluster analysis of contents of 9 mineral elements in seed kernels of *Castanea henryi* from different varieties[J]. Food Science, 2019, 40(2): 165–170.]