

刘艳, 陶亮, 顾凡, 等. 大理漾泡、紫皮核桃仁营养成分及风味物质的比较分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(10): 308–315. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050320

LIU Yan, TAO Liang, GU Fan, et al. Comparative Analysis of Nutritional Components and Flavor Substances between Dali Yangpao and Purple Walnut Kernels[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(10): 308–315. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050320

· 营养与保健 ·

大理漾泡、紫皮核桃仁营养成分及风味物质的比较分析

刘艳^{1,2}, 陶亮^{1,3}, 顾凡¹, 代佳和^{1,3,*}, 田洋^{1,3}

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201;

2. 滇西应用技术大学普洱茶学院, 云南普洱 665099;

3. 食药同源资源开发与利用教育部工程研究中心, 云南昆明 650201)

摘要: 为研究大理漾泡、紫皮核桃仁营养元素及风味物质的差异, 以两种核桃仁为原料, 分别测定其氨基酸、脂肪酸、基本营养素、矿物质元素含量, 采用气相色谱质谱联用法 (GC-MS) 检测两种核桃仁之间的挥发性成分。结果表明, 紫皮核桃仁总氨基酸、必需氨基酸和鲜味氨基酸含量分别高于漾泡核桃仁, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 两种核桃仁中均检出 3 种饱和脂肪酸, 其中漾泡核桃仁的棕榈酸含量 (4.17%) 高于紫皮 (2.69%); 均检出 5 种不饱和脂肪酸, 其中, 紫皮核桃仁的油酸、花生一烯酸和亚麻酸含量均高于漾泡核桃仁 ($P < 0.05$), 棕榈一烯酸和亚油酸含量低于漾泡核桃仁, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 紫皮核桃仁脂肪、蛋白质、碳水化合物含量均高于漾泡核桃仁 ($P < 0.05$); 共检出 9 种矿物质元素, 紫皮核桃中 P、Zn、Fe、Cu、Na、K 元素含量高于漾泡核桃 ($P < 0.05$); 从漾泡、紫皮核桃仁中分别鉴定出 30 种、33 种挥发性风味物质, 其中醇类、醛类、酮类化合物是紫皮核桃的主要风味物质, 而漾泡核桃的主要风味物质是醇类和烯炔类化合物 (19.948%、3.819%)。两种核桃中醇类化合物峰面积占比最高, 对气味贡献较大, 尤其己醇峰面积占比最高, 可赋予核桃淡青的嫩枝叶气息以及酒香、果香和脂肪气息。以上结果表明两种核桃都具有较高的营养价值, 紫皮核桃略胜一筹。

关键词: 核桃仁, 氨基酸, 脂肪酸, 矿物质元素, 风味物质

中图分类号: TS255.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)10-0308-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050320



本文网刊:

Comparative Analysis of Nutritional Components and Flavor Substances between Dali Yangpao and Purple Walnut Kernels

LIU Yan^{1,2}, TAO Liang^{1,3}, GU Fan¹, DAI Jiahe^{1,3,*}, TIAN Yang^{1,3}

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Western Yunnan University of Applied Technology Pu'er Tea College, Puer 665099, China;

3. Development and utilization of food and drug homologous Resources Engineering Research Center of the Ministry of Education, Kunming 650201, China)

Abstract: The aim of study was to analyze the differences in nutritional elements and flavor substances between the Dali Yangpao and purple walnut kernels, two kinds of walnut kernels were used as raw materials, the content of amino acids, fatty acids, essential nutrients and mineral elements were determined separately, and the volatile components between the

收稿日期: 2023-05-30

基金项目: 农业农村部农产品加工重点实验室、农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室开放课题项目 (S2021KFKT-08); 核桃肽改善高糖高脂复合模型致学习记忆减退作用及机制研究 (202101AK070234); 云南省重大科技专项计划 (202102AE090027-2); 云南省核桃科技特派团 (202204BI0900120); 滇西应用技术大学普洱茶学院院级课题 (2021CX03)。

作者简介: 刘艳 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 2209565350@qq.com。

* 通信作者: 代佳和 (1992-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品资源与营养工程, E-mail: 554741219@qq.com。

two walnut kernels were detected by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS). The results showed that compared to those of the Yangpao walnut kernels, the purple walnut kernels had a higher content of total amino acid, essential amino acid, and umami amino acid ($P<0.05$). Three kinds of saturated fatty acids were detected in both walnut kernels, the palmitic acid content of Yangpao walnut kernels (4.17%) was higher than that of purple walnut kernels (2.69%). Five kinds of unsaturated fatty acids were detected in both walnut kernels, compared to those of the Yangpao walnut kernels, the purple walnut kernels had a higher content of oleic acid, arachidonic acid, and linolenic acid, but purple walnut kernels had a lower content of palmitoleic acid and linoleic acid ($P<0.05$). Compared to those of the Yangpao walnut kernels, the purple walnut kernels had a higher content of fat, protein, and carbohydrate ($P<0.05$). A total of 9 mineral elements were detected in both walnut kernels, and the P, Zn, Fe, Cu, Na, and K elements content of Yangpao walnut kernels was higher than those of purple walnut kernels ($P<0.05$). 30 and 33 volatile flavor compounds were identified from Yangpao and purple walnut kernels, respectively. Alcohols, aldehydes, and ketones were the main flavor substances of purple walnut, while Yangpao walnut's main flavor substances were alcohols and olefin compounds (19.948%, 3.819%). The peak area of alcohol compounds, especially hexanol, accounted for the highest proportion in Yangpao and purple walnut kernels, respectively. The above results indicate that purple walnut kernels have higher nutritional value and flavor substances.

Key words: walnut kernel; amino acids; fatty acids; mineral elements; flavor substances

核桃(*Juglans* spp)又称为胡桃、宪果、羌桃,是胡桃科核桃属植物,是一种综合开发利用价值很高的木本油料树种及干果树种。我国是核桃种植面积及产量大国,物种资源丰富达 380 多种,广泛分布在 20 多个省份,主要集中在云南、四川、新疆、贵州等省份。由于云南地形地貌复杂、气候条件特殊、土壤类型多种多样,造成核桃种质资源丰富,品种繁多^[1]。漾泡核桃仁色黄白、口感香醇,是云南省主栽良种。紫仁核桃属云南核桃晚实特异类群,因核仁皮色为紫色而得名,其核仁颜色特殊,是我国极其宝贵的核桃种质资源,可作为育种材料开发和利用^[2]。

香味是影响食品质量和消费者感知的一个关键因素,不同品种的核桃会导致核桃仁的营养成分及相关性风味物质产生差异。目前关于云南核桃营养成分测定分析的研究较多,但鲜有结合核桃仁的挥发性风味物质研究核桃品质异同的研究。胡祥等^[3]测定了云南核桃‘龙佳’的基本营养成分、脂肪、氨基酸含量;袁婵娟等^[4]对云南三种有色泡核桃仁基本营养成分、矿物质元素、脂肪酸及多酚类物质进行了测定;耿树香等^[5]对 22 个云南主栽品种核桃的蛋白质及脂肪的含量进行测定,刘娇等^[6]对漾泡核桃的坚果品质比较进行综合评价。云南核桃的栽培品种较多,目前的报道尚未对大理漾泡、大理紫皮核桃的营养成分进行研究分析。本研究通过对大理漾泡、大理紫皮核桃的氨基酸、脂肪酸、矿物质含量及相关性风味物质进行测定分析,为大理核桃营养品质评价、综合开发利用、桃核的深加工利用以及产业发展提供一定的理论依据和市场竞争能力。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

漾泡核桃仁 300 g、紫皮核桃仁 300 g 均采自大理漾泡,选取核桃仁色泽金黄、肉质饱满、无霉变、无虫害、无杂质的果仁为实验材料;三氯乙酸、氯化钠、冰乙酸、盐酸、柠檬酸(分析纯) 四川西陇科学有限公司;18 种氨基酸标准品(纯度 $\geq 99\%$)

购自美国 Sanland 公司;牛血清蛋白 上海蓝季科技发展有限公司

7890A 高效气相色谱仪 美国安捷伦公司; Biochrom 30 全自动氨基酸分析仪 宁波欧普仪器有限公司;KDY-9810 型凯氏定氮仪 北京市通润源机电技术有限责任公司;Optima 电感耦合等离子体发射光谱仪 美国 PE 公司;UV 752N 紫外-可见分光光度计 上海仪电分析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 游离氨基酸含量测定 参考 Li 等^[7]的方法并作适当修改。准确称取 50 mg 核桃样品,加入 20 mL 超纯水,匀浆,然后加入 20 mL 5% 的三氯乙酸溶液,充分混匀后于 4 °C 静置 12 h,过滤,取滤液定容至 50 mL,摇匀后过 0.22 μm 滤膜,待氨基酸自动分析仪检测。

1.2.2 脂肪酸组成的测定 脂肪酸根据 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》对核桃仁中的脂肪酸含量进行测定^[8]。

1.2.3 核桃仁风味化合物测定 核桃仁风味化合物采用 GC-MS 测定。称取核桃仁 5 g(精确到 0.01 g),加入 10 mL 蒸馏水,研磨后过滤匀浆,制得样品溶液备用。取 3.0 mL 样品置于 20 mL 顶空瓶中,将老化后的 50/30 μm CAR/PDMS/DVB 萃取头插入样品瓶顶空部分,于 60 °C 吸附 30 min,吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口,于 250 °C 解吸 3 min,同时启动仪器采集数据。

GC 条件:进样口温度:265 °C,载气流速:1.0 $\mu\text{L}/\text{min}$;程序升温:40 °C 保持 2 min,以 5 °C/min 升温至 120 °C,保持 6 min,最后以 10 °C/min 升温至 25 °C,保持 6 min。

MS 条件:放射电流,电子能量 70 eV,离子温度 200 °C,传输线温度 250 °C,探测器电压:1000 V。

定性、定量方法:用气相色谱-质谱联用仪分析鉴定核桃样品溶液,得到总离子色谱图。经计算机

NIST Library 谱库检索, 择相似度大于 800 的物质予以确认, 按各组分峰面积进行数据分析处理。

1.2.4 主要营养物质及矿物质元素测定 碳水化合物含量测定: 参照 GB/T 10782-2006《食品中总糖含量测定》; 蛋白质含量的测定: 参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》^[9]; 脂肪含量的测定: 参照 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》^[10]; 灰分的测定: 参照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》; 磷含量的测定: 参照 GB 5009.87-2016《食品中磷的测定》^[11]; 锌含量的测定: 参照 GB 5009.14-2016《食品中锌的测定》^[12]; 铁含量的测定: 参照 GB 5009.90-2016《食品中铁的测定》^[13]; 镁含量的测定: 参照 GB 5009.241-2017《食品中镁的测定》^[14]; 钙含量的测定: 参照 GB 5009.92-2016《食品中钙含量的测定》^[15]; 铜含量的测定: 参照 GB 5009.90-2016《食品中铜含量的测定》^[16]; 钠、钾含量的测定: 参照 GB 5009.91-2017《食品中钾、钠的测定》^[17]。

1.3 数据处理

所有试验重复三次, 数据用平均值±标准差 ($\bar{x}\pm s$)表示, 采用 SPSS 软件进行方差分析, 显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 漾泡、紫皮核桃仁的游离氨基酸组成分析

游离氨基酸的含量、组成及阈值共同决定了产品的滋味强度^[18]。根据氨基酸不同的结构特性, 主要将其分为鲜味、甜味和苦味氨基酸, 呈味氨基酸含量越高可使呈味更加浓厚、丰富^[19]。漾泡和紫皮核桃的 17 种游离氨基酸色谱图见图 1, 含量见表 1。漾泡核桃仁中总游离氨基酸的含量(868.70 mg/kg)显著低于紫皮核桃仁(2471.30 mg/kg)($P<0.05$)。两种核桃仁中都包含天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸 4 种鲜味氨基酸^[20], 鲜味氨基酸的组成和含量的多少决定了核桃仁的鲜美程度, 本研究中紫皮核桃仁的总鲜味氨基酸含量(948.30 mg/kg)显著高于漾泡核桃仁(540.22 mg/kg)($P<0.05$)。紫皮核桃中谷氨酸含量(578.00 mg/kg)最高, 其次是精氨酸(447.90 mg/kg)和丙氨酸(196.20 mg/kg); 漾泡核桃谷氨酸含量

表 1 核桃仁游离氨基酸含量(mg/kg)

滋味描述	项目名称	样品名称	
		漾泡核桃	紫皮核桃
鲜味	Asp天门冬氨酸	113.36±0.42 ^a	120.90±1.72 ^b
甜味	*Thr苏氨酸	74.80±1.52 ^a	183.30±0.59 ^b
甜味	Ser丝氨酸	42.20±1.33 ^a	151.30±0.86 ^b
鲜味	Glu谷氨酸	222.50±1.90 ^a	578.00±2.99 ^b
鲜味	Gly甘氨酸	28.60±1.96 ^a	53.20±1.68 ^b
鲜味	Ala丙氨酸	62.40±1.34 ^a	196.20±1.96 ^b
甜味	Gys胱氨酸	32.10±0.30 ^b	28.70±0.13 ^a
苦味	*Val缬氨酸	39.00±1.99 ^a	124.10±1.13 ^b
甜味	*Met蛋氨酸	15.70±0.56 ^a	26.00±0.59 ^b
苦味	*Ile异亮氨酸	16.00±0.36 ^a	71.50±0.79 ^b
苦味	*Leu亮氨酸	25.80±0.20 ^a	116.70±2.07 ^b
无味	Tyr酪氨酸	19.80±0.39 ^a	80.30±0.59 ^b
苦味	*Phe苯丙氨酸	22.10±0.25 ^a	81.30±0.70 ^b
甜味	His组氨酸	28.60±1.90 ^a	97.40±1.70 ^b
苦味	*Lys赖氨酸	16.40±0.25 ^a	48.90±1.33 ^b
苦味	Arg精氨酸	88.50±1.90 ^a	447.90±3.55 ^b
甜味	Pro脯氨酸	20.80±1.89 ^a	65.60±0.92 ^b
-	必需氨基酸含量	209.80±1.89 ^a	651.80±7.20 ^b
-	非必需氨基酸	657.50±5.23 ^a	1707.90±0.59 ^b
-	鲜味氨基酸含量	540.22±5.62 ^a	948.30±8.35 ^b
-	游离氨基酸总量(%)	868.70±18.46 ^a	2471.30±23.30 ^b

注: *表示该氨基酸为人体必需氨基酸; 同一行不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

(222.50 mg/kg)最高, 其次为天门冬氨酸(113.36 mg/kg)、精氨酸(88.50 mg/kg)。紫皮核桃的四种鲜味氨基酸含量均显著高于漾泡核桃($P<0.05$)。

根据 FAO/WHO 提出的标准, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值(EAA/NEAA)越接近 FAO/WHO 氨基酸模式要求 60% 左右时, 说明该蛋白质营养价值越高^[21]。漾泡、紫皮核桃仁中 FAO/WHO 值分别为 31.90%、38.16%, 2 种核桃与 FAO/WHO 标准值有一定的差距, 但紫皮核桃高于漾泡核桃, 由此表明紫皮核桃蛋白质营养价值高于漾泡核桃。

2.2 漾泡、紫皮核桃仁脂肪酸组成及含量

表 2 可见, 漾泡、紫皮核桃仁中均检出 8 种脂肪酸, 包括 3 种饱和脂肪酸和 5 种不饱和脂肪酸。漾

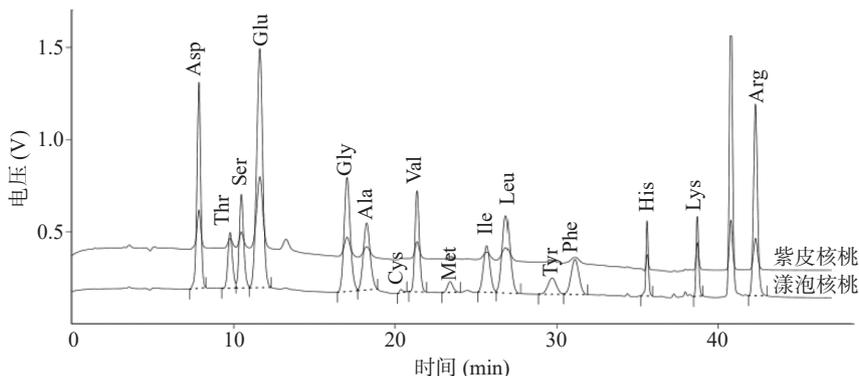


图 1 核桃仁的不同游离氨基酸色谱图

Fig.1 Chromatograms of different free amino acids of walnut kernel

泡、紫皮核桃仁饱和脂肪酸中棕榈酸含量最高(4.17%、2.69%),硬脂酸次之(1.32%、1.12%),花生酸含量最低(0.04325%、0.0386%),漾泡核桃仁的棕榈酸含量高于紫皮($P<0.05$)。不饱和脂肪酸 5 种,单不饱和脂肪酸 3 种,包括棕榈一烯酸(0.0911%、0.0389%)、油酸(16.10%、21.40%)、花生一烯酸(0.0711%、0.0793%),紫皮核桃仁的油酸、花生一烯酸含量高于漾泡核桃仁($P<0.05$),棕榈一烯酸含量低于漾泡核桃仁($P<0.05$);多不饱和脂肪酸 2 种,亚油酸(37.00%、27.80%)、亚麻酸(4.00%、5.58%),漾泡核桃仁亚油酸含量高于紫皮核桃仁($P<0.05$),亚麻酸含量低于紫皮核桃仁($P<0.05$)。

表 2 核桃仁脂肪酸组成(%)
Table 2 Fatty acid composition of walnut kernel (%)

脂肪酸组成	漾泡核桃	紫皮核桃
棕榈酸C16:0	4.17±0.25 ^a	2.69±0.09 ^b
硬脂酸C18:0	1.32±0.13 ^a	1.12±0.24 ^a
花生酸C20:0	0.0435±0.003 ^a	0.0386±0.002 ^a
饱和脂肪酸含量(SFA)	5.53±0.37 ^a	3.84±0.30 ^b
棕榈一烯酸C16:1	0.0911±0.01 ^a	0.0389±0.002 ^b
油酸C18:1	16.10±0.21 ^b	21.40±0.24 ^a
花生一烯酸C20:1	0.0711±0.001 ^b	0.0793±0.002 ^a
单不饱和脂肪酸含量(MUFA)	16.26±0.22 ^b	21.51±0.24 ^a
亚油酸C18:2	37.00±0.24 ^a	27.80±0.18 ^b
亚麻酸C18:3	4.00±0.12 ^b	5.58±0.05 ^a
多不饱和脂肪酸含量(PUFA)	41.00±0.13 ^a	33.38±0.12 ^b
脂肪酸总含量	62.79±0.27 ^a	58.75±0.40 ^b

注: 同一行不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸相对含量的比值是判定脂肪酸性质的一个重要指标,当其值>2 时,表明植物的油脂具有降血脂功能,其值越大降血脂功能越强^[22-23]。本研究中漾泡、紫皮核桃仁的多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸的值分别为 7.41、8.67,漾泡核桃仁低于紫皮,说明紫皮核桃仁油脂降血脂的能力高于漾泡核桃仁,与李瑞等^[24]报道的云南 17 种核桃仁相比其值接近甚至高于个别品种。

2.3 漾泡、紫皮核桃仁主要营养物质及矿物质元素分析

营养物质对于维持人体生命健康和生命活动具有重要意义,由表 3 可知漾泡、紫皮两种核桃仁富含脂肪(68.4、69.7 g/100 g)、蛋白质(19.5、23.1 g/100 g)、碳水化合物(7.4、9.2 g/100 g)三大产能营养素,其中紫皮核桃仁的蛋白质和碳水化合物含量均高于漾泡核桃仁($P<0.05$)。核桃蛋白是优质蛋白,本研究中漾泡、紫皮核桃仁蛋白质含量均高于耿香树等^[5]研究中的 22 种核桃蛋白质含量。此外,漾泡核桃仁中灰分含量高于紫皮核桃仁,可能与核桃种植地环境、气候等众多因素有关。

矿物质元素是维持机体生理活动不可或缺的营养元素,人体不能自身合成,需要从外界获取^[25]。由

表 3 核桃仁的主要营养成分及矿物质元素含量测定
Table 3 Determination of main nutrients and mineral element content of walnut kernel

项目名称	样品名称	
	漾泡核桃	紫皮核桃
碳水化合物(g/100 g)	7.40±0.07 ^a	9.20±0.04 ^b
蛋白质(g/100 g)	19.50±0.28 ^a	23.10±0.17 ^b
脂肪(g/100 g)	68.40±0.28 ^a	69.70±0.28 ^a
灰分(g/100 g)	3.10±0.08 ^b	2.70±0.10 ^a
磷P(mg/kg)	4460±4.04 ^a	4590±2.96 ^b
锌Zn(mg/kg)	21.20±0.26 ^a	34.40±0.34 ^b
铁Fe(mg/kg)	23.80±0.06 ^a	26.60±0.47 ^b
镁Mg(mg/kg)	1760±4.33 ^b	1700±13.74 ^a
钙Ca(mg/kg)	855±3.52 ^b	671±3.60 ^a
铜Cu(mg/kg)	16.80±0.20 ^a	20.50±0.29 ^b
钠Na(mg/kg)	1.65±0.01 ^a	2.33±0.05 ^b
钾K(mg/kg)	1280±2.51 ^a	2140±6.33 ^b
矿物质元素总含量(mg/kg)	8418.45±6.01 ^a	9184.83±20.60 ^b

注: 同一行不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

于核桃仁富含丰富的矿物质元素,可作为人们摄取矿物质元素的重要来源。由表 3 可知,紫皮核桃仁中 P、Zn、Fe、Cu、Na、K 元素含量均高于漾泡核桃仁($P<0.05$),Mg、Ca 元素含量均低于漾泡核桃仁。

2.4 漾泡、紫皮核桃仁挥发性成分的 GC-MS 测定结果

按照 GC-MS 法的条件试验,对核桃样品溶液顶空收集物质进行了 GC-MS 分析,图 2、图 3 为漾

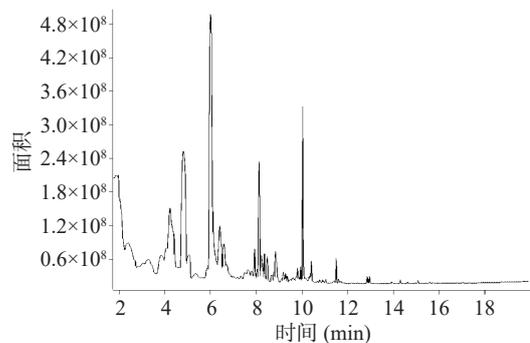


图 2 漾泡核桃仁离子流色谱图

Fig.2 Chromatogram of the ion flow of the Yangpao walnut kernel

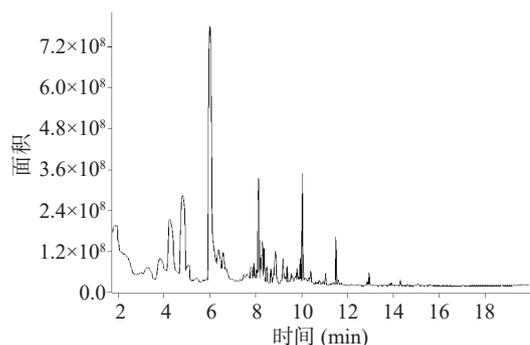


图 3 紫皮核桃仁离子流色谱图

Fig.3 Chromatogram of ion flow of purple walnut kernels

泡、紫皮核桃总离子色谱图,通过计算机检索和人工解析,扣除由萃取头带来的硅氧烷类杂质峰,对漾泡、紫皮核桃仁的30种、33种化合物进行分析。

由表4可得,漾泡核桃仁中检测出29种挥发性风味成分,主要包括:醇类2种(19.93%)、烯炔类11种(5.08%)、醛类4种(4.11%)、酯类3种(2.25%)、酮类4种(1.43%)、酸类1种(0.31%)芳香烃类5种(0.225%),紫皮核桃仁中共检测出32种挥发性风味成分,主要包括醇类2种(27.36%)、醛类8种(17.33%)、酮类7种(8.69%)、酯类8种(2.67%)、烯炔类5种(0.853%)、酸类1种(0.10%)、芳香烃类1种(0.057%),两种核桃仁在挥发性风味成分的种类及峰面积占比上均有着明显的差异。

对不同种类的风味物质进行分析:醇类化合物前体物质为多不饱和脂肪酸,可与某些酸形成酯类物质,因此可赋予油脂清新的花草香气^[27]。本试验检测到漾泡、紫皮核桃仁的醇类化合物峰面积占比最大,其中己醇含量最高,分别占19.91%、27.35%,己醇可赋予核桃淡青的嫩枝叶气息、酒香、果香和脂肪气息;醛类化合物主要来自于油脂的氧化,具有脂肪香味^[28]。紫皮核桃中醛类化合物组成丰富且峰面积占比大,为7种(17.08%),漾泡中4种(3.82%)。己醛

(苹果香气)、庚醛(坚果香气)、(E)-2-庚烯醛(鲜甜的果味)、月桂醛(带有甜的花香和柑橘香气)在紫皮核桃仁中检出,是紫皮核桃的主要特征性风味;多数的酮类物质具有独特的清香、奶油香味或果香气味,能使食物整体风味更加饱满^[29]。

紫皮核桃仁中酮类物质的种类及峰面积均高于漾泡核桃仁,分别为7种(8.69%)、4种(1.43%),辛酮、2-辛酮、苯乙酮、异佛尔酮在紫皮核桃仁中存在,其中2-辛酮含量较高能赋予核桃仁苹果香气;烯炔类化合物气味强烈,呈味阈值也较低,大多具有辛香、木香、柑橘香、樟脑香、柠檬香及热带果香等香气。紫皮核桃仁中检测到的烯炔类物质只有P-伞花烃、长叶环烯、2-茨烯、枯稀四种,而漾泡核桃仁中烯炔类化合物组成较为丰富有7种(1.15%);酯类化合物一般具有酒香、花香和典型的水果香气,是很重要的呈香物质,通常是由脂质代谢或酸类及醇类物质的酯化反应生成^[30]。两种核桃仁的酯类化合物峰面积接近,但所含种类差异较大,大理紫皮8种(2.67%)、漾泡3种(2.25%),月桂酸甲酯、乙酸丁酯、己酸甲酯、辛酸乙酯、丙位辛内酯、己酸戊酯、甘油二乙酸酯等在紫皮核桃仁中检出,能赋予紫皮核桃仁果香、酒香及脂肪的香气;芳香烃类化合物主要来源于脂肪

表4 漾泡、紫皮核桃仁挥发性风味化合物

Table 4 Volatile flavor compounds of the Yangpao, purple walnut kernels

分类	化合物	分子式	CAS	风味 ^[26]	保留时间 (min)	漾泡核桃		保留时间 (min)	紫皮核桃	
						相似度	峰面积 (%)		相似度	峰面积 (%)
脂类化合物	月桂酸甲酯	C ₈ H ₁₀	111-82-0	酒香的香气	-	-	-	5.85848	952	0.066
	乙酸丁酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	590-01-2	果香、甜香、香蕉、热带和热带水果	-	-	-	6.68375	916	1.495
	己酸甲酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	106-70-7	果味脂肪	-	-	-	6.9629	808	0.117
	丁酸丁酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	109-21-7	有苹果香味	8.21051	937	2.206	8.2107	942	0.875
	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	106-32-1	类似白兰地的香气,并有甜味	-	-	-	11.4197	849	0.057
	丙位辛内酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	104-50-7	呈桃、椰子似甜果香气和燕麦面包香味	-	-	-	12.3547	868	0.026
	丙酸香叶酯	C ₁₃ H ₂₂ O ₂	105-90-8	呈甜葡萄和玫瑰似香甜气	7.9566	903	0.039	-	-	-
	元氯菊酯	C ₁₂ H ₁₀	92-52-4	略带甜味	14.1709	844	0.001	-	-	-
	己酸戊酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	540-07-8	呈香蕉和菠萝似香气	-	-	-	12.7588	911	0.016
	甘油二乙酸酯	C ₇ H ₁₂ O ₅	25395-31-7	非常轻微的酒精味	-	-	-	13.4425	891	0.017
	糠醛	C ₅ H ₄ O ₂	98-01-1	有杏仁的气味	5.3687	823	0.498	-	-	-
	己醛	C ₅ H ₁₂ O	66-25-1	苹果香气	-	-	-	4.8031	819	11.471
	庚醛	C ₇ H ₁₄ O	111-71-7	杏仁、坚果香气	-	-	-	6.5774	940	2.145
醛类化合物	(E)-2庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O	18829-55-5	强烈的绿色、甜、新鲜的果味	-	-	-	7.5604	846	0.098
	(E)-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	2548-87-0	甜绿色柑橘皮、辛辣黄瓜油性脂肪性	9.2872	890	0.237	9.2885	852	0.244
	正辛醛	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	绿色,带有淡淡的柑橘味	8.3585	960	0.659	8.3594	968	0.989
	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	124-19-6	有油脂气味、甜橙气息	10.0344	959	2.656	10.0351	957	2.253
	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	112-31-2	香气青辛微甜,有似甜橙油与柠檬油以及玫瑰样和蜡香的后韵	11.6008	952	0.062	11.6005	957	0.114
醇类化合物	月桂醛	C ₁₂ H ₂₄ O	112-54-9	带有甜的花香和柑橘香气	-	-	-	14.4403	754	0.011
	己醇	C ₆ H ₁₄ O	111-27-3	有淡青的嫩枝叶气息,微带酒香、果香和脂肪气息	7.0285	956	19.905	6.0012	956	27.355
	月桂醇	C ₁₂ H ₂₆ O	112-53-8	具有弱而持久的油脂气味、花香味	-	-	-	12.8298	813	0.006
	2-乙基-1-丁醇	C ₆ H ₁₄ O	97-95-0	有淡青的嫩枝叶气息,微带酒香、果香和脂肪气息	10.4783	844	0.024	-	-	-

续表 4

分类	化合物	分子式	CAS	风味 ^[26]	保留时间 (min)	漾泡核桃		保留时间 (min)	紫皮核桃	
						相似度	峰面积 (%)		相似度	峰面积 (%)
酮类化合物	2-庚酮	C ₇ H ₁₄ O	110-43-0	类似香蕉的香气及轻微的药香气味	6.3498	936	0.830	6.3488	944	3.955
	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O	110-93-0	具有水果香气和绿色植物香气	8.0314	866	0.239	8.0325	837	0.292
	辛酮	C ₈ H ₁₆ O	106-68-3	蘑菇、干酪和发霉果味	-	-	-	8.0446	899	0.398
	2-辛酮	C ₈ H ₁₆ O	111-13-7	苹果香气	-	-	-	8.1185	874	3.647
	苯乙酮	C ₈ H ₈ O	98-86-2	呈强烈金合欢似甜香气	-	-	-	9.4473	930	0.057
	壬酮	C ₉ H ₁₈ O	821-55-6	呈水果、花、油脂和药草似香气	9.7985	935	0.255	9.7988	931	0.336
	烟叶酮	C ₁₃ H ₁₈ O	13215-88-8	烟草辣味	-	-	-	16.6233	800	0.005
酸类化合物	异佛尔酮	C ₉ H ₁₄ O	78-59-1	有薄荷香味	10.357	938	0.107	-	-	-
	戊酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	109-52-4	具有难闻的臭袜子气味	7.8143	855	0.314	7.8333	825	0.103
	苯乙烯	C ₈ H ₈	100-42-5	甜的芭蕉花; 塑料气味	6.4115	815	4.098	-	-	-
	桔烯	C ₉ H ₁₂	98-82-8	特色的芳香性气味	-	-	-	7.9456	935	0.094
	α -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	80-56-8	强烈的木质和松质气味	7.1704	884	0.073	-	-	-
	2-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	464-17-5	樟脑香气	-	-	-	7.1704	941	0.655
	3-蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	13466-78-9	松木气息	8.4825	903	0.560	-	-	-
烯烃类化合物	γ -蒎烯	C ₁₀ H ₁₆	99-85-4	具有柑橘和柠檬香气	9.3060	812	0.051	-	-	-
	对 α -二甲基苯乙炔	C ₁₀ H ₁₂	1195-32-0	辛辣, 香辣气味	9.8394	897	0.007	-	-	-
	α -铜烯	C ₁₅ H ₂₄	3856-25-5	-	14.1046	809	0.006	-	-	-
	桉烯	C ₁₅ H ₂₄	475-20-7	具有木香及似鸢尾香气	14.6268	915	0.024	-	-	-
	α -蒎烯	C ₁₅ H ₂₂	644-30-4	木质雪松, 鲜香	15.4154	906	0.010	14.1495	924	0.013
	β -红没药烯	C ₁₅ H ₂₄	495-61-4	具有温暖的木香、柑橘香、花香、果香、青香, 和甜润的香脂香气	15.7474	876	0.013	-	-	-
	P-伞花烃	C ₁₀ H ₁₄	535-77-3	-	-	-	-	9.6355	893	0.079
	长叶环烯	C ₁₅ H ₂₄	1137-12-8	-	-	-	-	14.627	877	0.012
	萘	C ₁₀ H ₈	91-20-3	辛辣、焦油味	11.4033	968	0.056	11.4033	955	0.057
	1,2,4,5-四甲基苯	C ₁₀ H ₁₄	95-93-2	-	10.2561	862	0.136	-	-	-
芳香烃类化合物	1,2-二甲氧基-苯	C ₈ H ₁₀ O ₂	91-16-7	甜奶油香草酚类	10.6396	823	0.001	-	-	-
	1-甲基萘	C ₁₁ H ₁₀	90-12-0	类似萘的气味	13.0343	938	0.010	-	-	-
	对二甲基苯二酚	C ₈ H ₁₀ O ₂	150-78-7	呈甜苜蓿似香气和酚味	10.9735	859	0.022	-	-	-

注:“-”表示未检出; 相对峰面积<0.01%未列入表中。

酸烷氧自由基的均裂, 但由于其阈值普遍较高^[31]。在漾泡、紫皮核桃仁总峰面积中占比较小, 分别为(0.22%、0.057%)可认为对核桃的风味贡献较小。

3 讨论与结论

通过对大理紫皮、漾泡两种核桃仁的基本营养成分及挥发性风味物质进行分析, 可以得出两种核桃仁所含的氨基酸种类、矿物质元素、脂肪酸组成一致, 但在含量方面两者存在较大差异, 紫皮核桃仁的游离氨基酸、蛋白质、碳水化合物、矿物质元素含量(2471.3 mg/kg、23.1 g/100 g、9.2 g/100 g、9184.83 mg/kg)高于漾泡核桃仁(868.7 mg/kg、19.5 g/100 g、7.4 g/100 g、8418.45 mg/kg)($P<0.05$), 鲜味氨基酸的组成和含量的多少决定了核桃仁的鲜美程度, 紫皮核桃仁鲜味氨基酸含量(948.30 mg/kg)显著($P<0.05$)高于漾泡核桃仁(540.22 mg/kg); 漾泡、紫皮核桃仁的蛋白质含量(19.5、23.1 g/100 g)、碳水化合物(7.4、9.2 g/100 g)高于苏为耿等^[32]报道的龙佳、香宁、胜霜、漾濞等品种中的含量, 两种核桃仁蛋白含

量较高可考虑将其做成蛋白饮品。

脂肪酸的组成及含量是衡量核桃仁品质和营养价值的重要指标, 其中不饱和脂肪酸对风味物质的产生有很大的影响, 对人体健康也有重要影响, 在本试验结果中, 漾泡和紫皮核桃仁不饱和脂肪酸占比为(41.00%、33.38%), 不饱和脂肪酸中油酸含量(16.1%、21.4%)、亚油酸含量(37.00%、27.80%)、亚麻酸含量(4.00%、5.58%), 与耿树香等^[4]报道的云南主栽的 40 种核桃脂肪酸含量存在一定差异, 可能是由于核桃的种植地域、环境气候及果实成熟度、存储条件等差异造成脂肪酸含量的不同。

从大理漾泡、紫皮核桃仁中分别鉴定出 29、32 种挥发性风味物质, 两种核桃仁中有共同的香气成分(丁酸丁酯、(E)-2-辛烯醛、正辛醛、壬醛、癸醛、2-庚酮、甲基庚烯酮、壬酮、己醇、戊酸、 α -蒎烯、萘)能赋予核桃仁果香及油脂香气, 己醛、庚醛、(E)-2-庚烯醛、月桂醛、2-辛酮、乙酸丁酯、2-蒎烯是紫皮核桃仁的主要风味物质, 赋予紫皮核桃仁甜的花

果香气。糠醛、壬酮、苯乙烯、3-萜烯、1,2,4,5-四甲基苯、1-甲基萜是漾泡核桃的主要风味物质,赋予漾泡核桃仁油脂、木质香及香辣气味。以上结果表明两种核桃都具有较高的营养价值,紫皮核桃略胜一筹。旨在通过本实验的测定,为大理的核桃营养价值,风味物质的研究提供一定的数据支持。

© 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] 张雨,毛云玲,冯倩,等.滇东北地区核桃种群优良单株的选择[J].经济林研究,2010,28(1):62-68. [ZHANG Yu, MAO Yunling, FENG Qian, et al. Superior tree selection from *Juglans sigillata* L. populations in Northeastern Yunnan[J]. Research on Economic Forest, 2010, 28(1): 62-68.]
- [2] 裴东,鲁新政.中国核桃种质资源[M].北京:中国林业出版社,2011:1-9. [PEI Dong, LU Xinzhen. Chinese walnut germplasm resources[M]. Beijing: China Forestry Press, 2011: 1-9.]
- [3] 胡祥,刘云,徐涵,等.‘龙佳’核桃品质分析及蛋白质提取工艺优化[J].食品科技,2021,46(2):225-231. [HU Xiang, LIU Yun, XU Han, et al. Quality analysis and protein extraction process optimization of *Juglans Sigillata* ‘Longjia’[J]. Food Technology, 2021, 46(2): 225-231.]
- [4] 袁奖娟,郝佳波,刘云,等.云南3种有色泡核桃仁营养成分及仁衣中多酚类物质分析[J].中国油脂,2023,48(5):120-123. [YUAN Shengjuan, HAO Jiabo, LIU Yun, et al. Analysis of nutritional components in kernels and polyphenols in coat of three colored *Juglans sigillata* in Yunnan[J]. Chinese Fats, 2023, 48(5): 120-123.]
- [5] 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 Shuxiang, NING Delu, HAN Mingzhu, et al. Comprehensive evaluation on protein and fatty acid of main cultivars of walnut in Yunnan province[J]. Chinese Grease, 2019, 44(10): 116-120,141.]
- [6] 刘娇,范志远,贡新华,等.云南主栽核桃品种坚果品质比较及综合评价[J].西南林业大学学报(自然科学),2018,38(5):97-102. [LIU Jiao, FAN Zhiyuan, YUN Xinhua, et al. Comparison and comprehensive evaluation of nut quality of main *Juglans sigillata* varieties in Yunnan[J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Science), 2018, 38(5): 97-102.]
- [7] LI J L, TU Z C, SHA X M, et al. Effect of frying on fatty acid profile, free amino acids and volatile compounds of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) Fillets[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(4).
- [8] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.168-2016 食品中脂肪酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [China Food and Drug Administration. GB 5009.168-2016 Determination of fatty acids in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [9] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [China Food and Drug Administration. GB 5009.5-2016 Determination of protein in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [10] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [China Food and Drug Administration. GB 5009.6-2016 Determination of fat in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [11] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.87-2016 食品中磷的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [China Food and Drug Administration. GB 5009.87-2016 Determination of phosphorus in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [12] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.14-2016 食品中锌的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [China Food and Drug Administration. GB 5009.14-2016 Determination of zinc in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [13] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.90-2016 食品中铁的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [China Food and Drug Administration. GB 5009.90-2016 Determination of iron in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [14] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.241-2017 食品中镁的测定[S].北京:中国标准出版社,2017. [China Food and Drug Administration. GB 5009.241-2017 Determination of magnesium in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.]
- [15] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.92-2016 食品中钙的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [China Food and Drug Administration. GB 5009.92-2016 Determination of calcium in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [16] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.13-2017 食品中铜的测定[S].北京:中国标准出版社,2017. [China Food and Drug Administration. GB 5009.13-2017 Determination of copper in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.]
- [17] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.91-2017 食品中钾、钠的测定[S].北京:中国标准出版社,2017. [China Food and Drug Administration. GB 5009.91-2017 Determination of potassium and sodium in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.]
- [18] RABIE M, PERES C, MALCATA F X. Evolution of amino acids and biogenic amines throughout storage in sausages made of horse, beef and turkey meats[J]. Meat Sci, 2014, 96(1): 82-87.
- [19] 赵洪雷,冯媛,徐永霞,等.海鲈鱼肉蒸制过程中品质及风味特性的变化[J].食品科学,2021,42(20):145-151. [ZHAO Honglei, FENG Yuan, XU Yongxia, et al. Changes in quality and flavor characteristics of sea bass muscle during steaming[J]. Food Science, 2021, 42(20): 145-151.]
- [20] 《食品添加剂手册第四版》新书出版[J].食品工业,2013(7):227.
- [21] 常君,张潇丹,姚小华,等.不同品种薄壳山核桃氨基酸组成及营养价值评价[J].西南大学学报(自然科学版),2021,43(4):44-52. [CHANG Jun, ZHANG Xiaodan, YAO Xiaohua, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of different varieties of pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43(4): 44-52.]
- [22] 陈逸鹏,郑凯航,何计国,等.几类市售坚果产品中油脂的脂肪酸分析[J].食品科技,2015,40(1):191-195. [CHEN Yipeng, ZHENG Kaihang, HE Jiguo, et al. Fatty acid analysis of oils and fats in several types of commercially available nut products[J]. Food Technology, 2015, 40(1): 191-195.]
- [23] 王雪,闫素梅.多不饱和脂肪酸对动物脂类代谢的调节作用与机制[J].动物营养学报,2019,31(6):2471-2478. [WANG Xue, YAN Sumei. Regulation and mechanism of lipid metabolism by polyunsaturated fatty acids of animals[J]. The Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(6): 2471-2478.]
- [24] 李瑞,刘云,阙欢,等.云南17种核桃仁主要营养成分测定及脂肪酸研究[J].包装工程,2019,40(7):19-25. [LI Rui, LIU

- Yun, KAN Huan, et al. Determination of main nutrient components and fatty acids in 17 kinds of walnut kernels in Yunnan[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(7): 19–25.]
- [25] 周红, 张萍, 李彦荣. 新疆野核桃坚果营养成分测定及分析[J]. *果树学报*, 2019, 36(5): 621–628. [ZHOU Hong, ZHANG Ping, LI Yanrong. Analysis of nutritive components of different types of Xinjiang wild wal-nuts[J]. *Journal of Fruit Trees*, 2019, 36(5): 621–628.]
- [26] TGSC Information System[A/OL]. <http://www.thegoodscentscompany.com/search3.phpqFlavor=78-70-6&submit.x=8&submit.y=9>.
- [27] 龙杰, 吴昕焯, 毕金峰, 等. HS-SPME-GC-MS 结合电子鼻探究渗透脱水联合干燥方式对桃脆片挥发性风味物质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(18): 241–251. [LONG Jie, WU Xinye, BI Jinfeng, et al. HS-SPME-GC-MS combined with electronic nose to explore the effects of osmotic dehydration coupled with drying method on the volatile compounds of peach chips[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2022, 43(18): 241–251.]
- [28] 罗章, 马美湖, 孙术国, 等. 不同加热处理对牦牛肉风味组成和质构特性的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(15): 148–154. [LUO Zhang, MA Meihu, SUN Shuguo, et al. Effects of different heat treatments on flavor and texture characteristics of cooked yak meat[J]. *Food Science*, 2012, 33(15): 148–154.]
- [29] 常海军, 周文斌, 朱建飞. 重庆城口香肠挥发性风味成分的分离与鉴定[J]. *食品科学*, 2016, 37(6): 146–152. [CHANG Haijun, ZHOU Wenbin, ZHU Jianfei. Isolation and Identification of volatile compounds of Chongqing Chengkou sausage[J]. *Food Science*, 2016, 37(6): 146–152.]
- [30] SUN W Z, ZHAO Q Z, ZHAO H F, et al. Volatile compounds of cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 319–325.
- [31] 孙瑞璐, 刘天月, 罗海玲, 等. 兴安多羔羊肉营养成分与风味物质研究[J]. *农业机械学报*, 2022, 53(10): 386–395. [SUN Ruilu, LIU Tianyue, LUO Hailing, et al. Investigation on nutrition and flavor of Xing' an lamb meat[J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2022, 53(10): 386–395.]
- [32] 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 Weigeng, PU Chengwei, KAN Huan, et al. Analysis of fruit characteristics and nutrient composition of six walnut cultivars in Yunnan[J]. *Food and Oil*, 2018, 31(4): 68–71.]