

# 陇南地区 8 个品种 (系) 核桃品质差异比较

辛 国<sup>1,2</sup>, 朱建朝<sup>1,2</sup>, 汪 海<sup>1,2</sup>, 郑小平<sup>1,2</sup>

(1. 陇南市经济林研究院 核桃研究所, 甘肃 武都 746000; 2. 甘肃省核桃工程技术研究中心, 甘肃 武都 746000)

**摘要:** 【目的】为了探究陇南地区核桃品质差异, 选择陇南地区 8 个品种 (系) 进行分析, 以期为该地区核桃品种筛选与产品开发及原料选择提供参考。【方法】以营养品质 (含油量、脂肪酸主要成分、矿物质与蛋白质含量、风味) 与安全品质 (铅与镉含量及常用农药残留成分) 作为核桃品质评价指标, 使用 NMR、ICP-MS、GC、凯式定氮仪、电子鼻进行检测。【结果】陇南 8 个品种 (系) 核桃坚果含油量为  $(536.0 \pm 3.30) \sim (685.0 \pm 1.60) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 脂肪酸主要成分为棕榈酸、棕榈烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸、顺-11-二十碳烯酸, 并且亚油酸和油酸含量比例高; 矿物质元素含量锌为  $(23.5 \pm 0.33) \sim (34.6 \pm 0.14) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、镁为  $(1483 \pm 15.33) \sim (1922 \pm 24.12) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、磷为  $(3187 \pm 24.56) \sim (4789 \pm 26.31) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、钾为  $(2898 \pm 26.31) \sim (3784 \pm 24.56) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 蛋白质含量为  $(158.0 \pm 2.30) \sim (221.0 \pm 2.40) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 风味除 ‘元林’ 外, 其余品种差异较小; 丰产抗病优树镉含量为  $0.011 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 其余品种未检测出铅、镉重金属; 无常用农药成分残留; 基于主成分分析的品质综合评价优劣依次为 ‘强特勒’、‘泡核桃’、丰产抗病优树、甘谷堆穗状核桃、袖珍核桃、陇刘 1 号、成县 ‘清香’、黄家坝 ‘清香’、文县 ‘清香’、‘元林’。【结论】陇南 8 个品种 (系) 核桃品质差异较大, 但是坚果矿物质元素与蛋白质比较丰富, 综合评价品质优劣依次为 ‘强特勒’、‘泡核桃’、丰产抗病优树、甘谷堆穗状核桃、袖珍核桃、陇刘 1 号、成县 ‘清香’、黄家坝 ‘清香’、文县 ‘清香’、‘元林’; 核桃品质与品种、气候、立地条件有关。

**关键词:** 核桃; 品质; 含油量; 脂肪酸; 矿物质元素; 蛋白质; 风味; 重金属

中图分类号: S664.1

文献标志码: A

文章编号: 1003—8981(2020)04—0052—10

## Comparison of quality difference of 8 walnut varieties (lines) in Longnan area

XIN Guo<sup>1,2</sup>, ZHU Jianzhao<sup>1,2</sup>, WANG Hai<sup>1,2</sup>, ZHENG Xiaoping<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Walnut Research, Longnan Economic Forest Research Academy, Wudu 746000, Gansu, China;

2. Gansu Walnut Engineering Technology Research Center, Wudu 746000, Gansu, China)

**Abstract:** 【Objective】In order to explore the quality difference of walnut in Longnan region, 8 varieties (lines) in this region were selected for analysis so that it can provide a reference for walnut variety selection and industrial product development and raw material selection. 【Method】The nutritional quality (oil content, main fatty acid composition, mineral element and protein content, flavor) and safety quality (Pd and Cd content, and common pesticide residues) were used as the evaluation index of walnut quality, which were determined by NMR, ICP-MS, GC, Kay nitrogen determination instrument and electronic nose. 【Result】The oil content of 8 Walnut varieties (lines) in Longnan was  $(536.0 \pm 3.30) \sim (685.0 \pm 1.60) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; the fatty acids were mainly palmitic acid, palmitoleic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, peanut acid and cis-11-eicosenoic acid, and the proportion of linoleic acid and oleic acid was high; the contents of mineral elements in zinc, magnesium, phosphorus, potassium and potassium kalium were  $(23.5 \pm 0.33) \sim (34.6 \pm 0.14) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(1483 \pm 15.33) \sim (1922 \pm 24.12) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(3187 \pm 24.56) \sim (4789 \pm 26.31) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(2898 \pm 26.31) \sim (3784 \pm 24.56) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectively; the protein content was  $(158.0 \pm 2.30) \sim (221.0 \pm 2.40) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , and there was little difference among other varieties except LN-04; the Cd content of LN-09 was  $(0.011 \pm 0.00) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , no heavy metals

收稿日期: 2020-5-24

基金项目: 甘肃省科技重大专项 “核桃种质创新与提质增效关键技术集成与示范” (18ZD2NA006-5); 陇南市重点人才项目 “核桃提质增效关键技术示范推广” (市委组 [2019] 101 号); 陇南市经济林研究院自列项目 “陇南市不同配方肥料区域试验研究” (2015-zd-02)。

第一作者: 辛国, 高级工程师, 硕士。

通信作者: 朱建朝, 硕士。E-mail: 2394487879@qq.com

引文格式: 辛国, 朱建朝, 汪海, 等. 陇南地区 8 个品种 (系) 核桃品质差异比较 [J]. 经济林研究, 2020, 38(4): 52-61.

XIN G, ZHU J Z, WANG H, et al. Comparison of quality difference of 8 walnut varieties (lines) in Longnan area [J]. Non-wood Forest Research, 2020, 38(4): 52-61.

such as Pd and Cd were detected in other varieties; and there were no common pesticide residues; the comprehensive quality evaluation based on principal component analysis was in the following decreased order: LN-05, LN-06, LN-09, LN-10, LN-07, LN-08, LN-02, LN-01, LN-03, LN-04. 【Conclusion】 There are significant differences in the quality of 8 varieties (lines) of walnut in Longnan, but the nuts rich in mineral elements and protein, the comprehensive evaluation quality is LN-05, LN-06, LN-09, LN-10, LN-07, LN-08, LN-02, LN-01, LN-03, LN-04 decreasingly; and the quality of the walnut is related to variety, climate and site conditions.

**Keywords:** Walnut; quality; oil content; fatty acid; mineral element; protein; flavor; heavy metals

核桃 *Juglans regia* L. 为胡桃科核桃属落叶乔木, 起源于温带、亚热带的西亚、北美等地区<sup>[1-2]</sup>, 其坚果富含不饱和脂肪酸、蛋白质、微量元素等成分, 被誉为“21 世纪超级食品”<sup>[3]</sup>。现研究结果表明, 核桃坚果具有健脑<sup>[4]</sup>、保护脑神经、延缓衰老<sup>[5-6]</sup>、改善机体代谢、保护心脑血管<sup>[7]</sup>等功效。

我国核桃种植历史悠久, 分布于 24 个省(区、市), 其种植面积与产量均位于世界首位<sup>[8]</sup>。陇南地处秦巴山区, 为全国核桃最佳栽培区与主产区之一<sup>[9]</sup>, 其所产核桃坚果壳薄、味美、口感香脆<sup>[10]</sup>, 该市的成县、康县被评为“中国核桃之乡”。国内学者对陇南地区核桃研究主要集中在良种选育与调查<sup>[10]</sup>、丰产栽培与管理<sup>[11]</sup>、青皮利用<sup>[12]</sup>等方面, 对核桃品质差异鲜有研究, 导致核桃产品开发与原料选择困难, 限制了核桃产业的发展与

壮大。因此, 本研究选择陇南地区 8 个核桃品种(系), 以营养品质(包括含油量、脂肪酸主要成分、矿质元素与蛋白质含量、风味)与安全品质(包括铅与镉含量以及常用农药残留成分)为核桃品质评价指标, 对同一品种不同产地及不同品种之间品质差异进行研究, 以期为优良核桃品种选育与栽培及核桃产品开发与原料选择提供实践参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验样品及来源如表 1 所示。由于定植的核桃果树数目、年份存在差异, 因此同一品种(系)坚果选择 5 棵树, 每棵树随机选取坚果(干果) 1 kg, 按照四分法取样, 每个品种(系)的坚果重复检测 3 次。

表 1 品种代号及来源  
Table 1 Variety codes and sources

代码 Code	品种(系) Variety (lines)	定植时间 Planting time	产地 Origin	经纬度 Longitude and latitude	海拔 Elevation/ m	地势 Terrain	平均气温 Average temperature/ ℃	最高气温 Maximum temperature/ ℃	最低气温 Minimum temperature/ ℃	无霜期 Frost free period/d	降水量 Precipitation/ mm
LN-01	‘清香’	2003-03	武都黄家坝	104°50'46"E, 33°25'1"N	956	平坦	14.9	38.2	-7.0	220	468.0
LN-02	‘清香’	2003-03	成县南山	105°43'35"E, 33°43'47"N	1 080	半阳坡	12.1	37.0	-15.0	208	639.0
LN-03	‘清香’	2003-03	文县刘家坪	104°49'7"E, 32°47'7"N	1 275	平坦	14.6	37.7	-7.4	220	680.8
LN-04	‘元林’	2007-04	武都黄家坝	104°50'46"E, 33°25'1"N	956	平坦	14.9	38.2	-7.0	220	468.0
LN-05	‘强特勒’	2010-05	武都黄家坝	104°50'46"E, 33°25'1"N	956	平坦	14.9	38.2	-7.0	220	468.0
LN-06	‘泡核桃’	2008-05	武都黄家坝	104°50'46"E, 33°25'1"N	956	平坦	14.9	38.2	-7.0	220	468.0
LN-07	袖珍核桃 (优系)	2010-03	文县刘家坪	104°49'7"E, 32°47'7"N	1 275	平坦	14.6	37.7	-7.4	220	680.8
LN-08	陇刘 1 号(优 系)	2011-04	文县刘家坪	104°49'7"E, 32°47'7"N	1 275	平坦	14.6	37.7	-7.4	220	680.8
LN-09	丰产抗病优 树(优系)	2011-03	徽县泥阳	105°49'41"E, 33°49'39"N	1 068	平坦	12.0	38.3	-15.0	210	720.0
LN-10	甘谷堆穗状 核桃(优系)	2010-03	武都黄家坝	104°50'46"E, 33°25'1"N	956	平坦	14.9	38.2	-7.0	220	468.0

### 1.2 主要试剂及试验仪器

硝酸(优级纯)、氢氧化钠(分析纯)、氢

氧化钾(分析纯)均购买于天津市化学试剂公司; 石油醚(分析纯)、甲醇(色谱纯)均购买于天

津市大茂化学试剂厂; Minispec 碳氢化合物含氢量测定仪 (德国布鲁克公司); Agilent ICP-MS 7800 型电感耦合等离子体质谱仪 (美国 Agilent 公司); Agilent 7890B-7000D 型气相色谱仪 (美国 Agilent 公司); KDN-103F 型自动凯式定氮仪 (上海纤检仪器有限公司); PEN 3.5 电子鼻分析仪 (德国 AIRSENSE 公司)。

### 1.3 品质测定指标

#### 1.3.1 营养品质指标

**含油量:** 以石油醚为浸提液, 使用脂肪测定仪中提取核桃油, 并分别称取核桃油 1.000、2.000、4.000、6.000、8.000、10.000、12.000、14.000、16.000 g, 预设测定参考值分别为 100%、50%、25%、16.67%、12.50%、10%、8.33%、7.14%、6.25%, 根据其对应的 NMR 信号幅度绘制标准曲线, 并计算各品种含油量。

**脂肪酸主要成分:** 参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》<sup>[13]</sup> 进行检测。

**微量元素:** 依据 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》<sup>[14]</sup> 进行检测分析。

**蛋白质含量:** 采用 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》<sup>[15]</sup> 中的第一法“凯氏定氮法”进行测定。

**风味分析:** 参考张正武等<sup>[16]</sup> 中的检测方法, 但稍有改动。将样品装进顶空瓶内, 待其富集气体达到平衡后, 以流速为 1 mL/min 的洁净干燥空气作为载气, 在采样间隔时间 2 s、连接样品时间 6 s、零点调节 10 s、清洗时间 300 s、数据采集时间 90 s 等条件下检测分析。传感器类型见表 2。

表 2 电子鼻传感器类型  
Table 2 Types of electronic nose sensors

传感器名称 Sensor name	性能描述 Performance description
W1C	芳香类成分, 苯类
W5S	灵敏度大, 对氮氧化物很灵敏
W3C	芳香类成分灵敏, 氨类
W6S	主要对含氢化合物有选择性
W5C	短链烷烃芳香类成分
W1S	对烷烃类化合物灵敏
W1W	对含硫的有机化合物灵敏
W2S	对醇类、醛酮类化合物灵敏
W2W	对含硫、含氯的有机化合物灵敏
W3S	对脂肪族烷烃类化合物灵敏

#### 1.3.2 安全品质指标

**铅 (Pd)、镉 (Cd) 含量:** 参照 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》进

行检测<sup>[17]</sup>。

**农药残留:** 参考 GB 2763—2019《食品安全国家标准 食品中农药最大残留量》进行检测<sup>[18]</sup>。

### 1.4 数据处理与分析

试验数据以  $(X \pm S)$  形式表示, 采用 Origin 9.0 软件作图, 利用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析与多重比较,  $P < 0.05$  具有统计学意义, 应用 SIMCA-P 14.1 软件进行主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 营养品质检测结果

#### 2.1.1 含油量测定结果

核桃含油量标准曲线如图 1 所示。其回归方程为  $y=0.151x-0.0165$ , 相关系数  $r=0.9991(n=9)$ , 且含油量在 1.000 ~ 16.000 g 之间, 线性关系良好。结果表明, 陇南地区核桃 8 个品种 (系) 含油量为  $(53.60 \pm 0.33)\% \sim (68.50 \pm 0.16)\%$  (图 2), 其中甘谷堆穗状核桃含油量最高  $(68.50 \pm 0.16)\%$ , ‘强特勒’  $(68.40 \pm 0.14)\%$ 、黄家坝 ‘清香’  $(67.90 \pm 0.12)\%$ 、文县 ‘清香’  $(66.40 \pm 0.21)\%$ 、成县 ‘清香’  $(66.10 \pm 0.09)\%$ 、‘元林’  $(65.40 \pm 0.13)\%$ 、‘泡核桃’  $(65.30 \pm 0.32)\%$ 、丰产抗病优树  $(64.90 \pm 0.14)\%$ 、陇刘 1 号  $(59.10 \pm 0.25)\%$ , 袖珍核桃含油量最低  $(53.60 \pm 0.33)\%$ 。

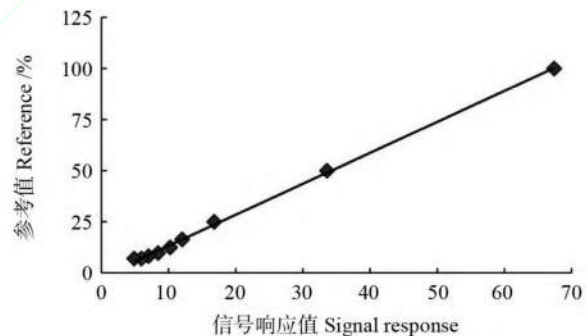


图 1 核桃含油量测定标准曲线

Fig. 1 Standard curve for determination of oil content in walnut

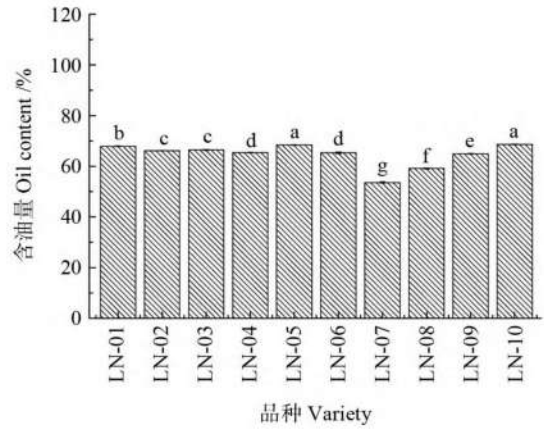
#### 2.1.2 脂肪酸主要成分检测结果

陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果脂肪酸主要成分相对含量比较结果如表 3 所示。陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果脂肪酸主要成分为棕榈酸、棕榈烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸、顺-11-二十碳烯酸, 不同品种其成分相对含量存在一定程度差异 (具体数据见表 3)。SFA 与 UFA 比较分析结果如图 3 所示, 由图 3 可知, 除 ‘泡核桃’ 外, 其余 7 个品种不饱和脂肪酸含量均高于 90%。MUFA 与 PUFA 比较分析结

果如图 4 所示, 由图 4 可知, PUFA 占脂肪酸成分的 (61.60±0.15)% ~ (75.80±0.14)%, MUFA 占脂肪酸成分的 (15.86±0.22)% ~ (34.37±0.15)%, 其中亚油酸相对含量最高, 为 (49.70±0.04)% ~ (64.50±0.34)%, 油酸相对含量较高, 为 (15.00±0.14)% ~ (34.10±0.06)%。

2.1.3 矿质元素结果分析

陇南 8 个品种 (系) 核桃坚果矿质元素含量如表 4 所示。由表 4 可知, 同一种矿质元素在不同核桃坚果中存在一定差异, 其中锌含量为 (23.50±0.33) ~ (34.60±0.14) mg·kg<sup>-1</sup>; 镁含量为 (1 483.00±15.33) ~ (1 922.00±24.12) mg·kg<sup>-1</sup>; 磷含量为 (3 187.00±24.56) ~ (4 789.00±26.31) mg·kg<sup>-1</sup>; 钾含量为 (2 898.00±26.31) ~ (3 784.00±24.56) mg·kg<sup>-1</sup>。



品种之间不同小写字母或者不同大写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。 Different lowercase letters or different uppercase letters between varieties indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

图 2 8 个品种 (系) 含油量测定结果  
Fig. 2 Results of determination of oil content in 8 varieties (lines)

表 3 8 个品种 (系) 脂肪酸主要成分相对含量比较 †  
Table 3 Comparison of relative contents of main components of fatty acids in 8 varieties (lines)

品种代码 Variety code	脂肪酸成分相对含量 Relative content of fatty acid composition /%							
	棕榈酸 C16:0 Palmitic acid	棕榈烯酸 C16:1 Palmitoleic acid	硬脂酸 C18:0 Stearic acid	油酸 C18:1 Oleic acid	亚油酸 C18:2 Linoleic acid	亚麻酸 C18:3 Linolenic acid	花生酸 C20:0 Arachidic acid	顺-11-二十碳烯酸 C20:1 Cis-11-eicosenoic acid
LN-01	6.50±0.07 b	0.11±0.02 cd	2.64±0.12 a	18.7±0.22 d	61.50±0.11 d	10.30±0.36 cd	0.08±0.01 c	0.17±0.02 a
LN-02	6.42±0.06 b	1.09±0.06 a	2.62±0.11 a	19.00±0.33 d	62.80±0.23 b	8.79±0.32 g	0.77±0.02 a	0.17±0.03 a
LN-03	6.31±0.03 b	0.11±0.02 cd	2.27±0.08 bc	15.90±0.25 f	64.50±0.34 a	10.70±0.31 c	0.71±0.01 ab	0.16±0.01 a
LN-04	5.82±0.04 cd	0.10±0.01 d	2.39±0.05 b	25.20±0.36 c	56.10±0.33 f	10.10±0.32 de	0.70±0.01 b	0.17±0.02 a
LN-05	6.22±0.01 bc	0.10±0.01 d	2.62±0.06 a	15.00±0.14 g	61.20±0.31 d	14.60±0.34 a	0.07±0.01 c	0.16±0.01 a
LN-06	7.33±0.01 a	0.17±0.01 b	2.61±0.12 a	18.10±0.05 d	61.90±0.04 c	9.66±0.03 ef	0.71±0.11 ab	0.12±0.1 b
LN-07	5.90±0.22 d	0.10±0.01 d	2.24±0.11 bcd	17.90±0.06 de	64.40±0.06 a	9.26±0.12 f	0.07±0.01 c	0.16±0.01 a
LN-08	5.62±0.32 d	0.15±0.01 bc	2.22±0.08 d	30.20±0.07 b	51.30±0.06 g	10.30±0.11 cd	0.08±0.01 c	0.15±0.01 a
LN-09	5.78±0.14 cd	0.09±0.01 d	2.07±0.03 d	17.70±0.06 e	60.20±0.05 e	13.90±0.24 b	0.07±0.01 c	0.18±0.01 a
LN-10	5.44±0.11 d	0.11±0.02 cd	2.38±0.04 b	34.10±0.06 a	49.70±0.04 h	7.98±0.21 g	0.07±0.01 c	0.16±0.01 a

† 同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。 Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). The same below.

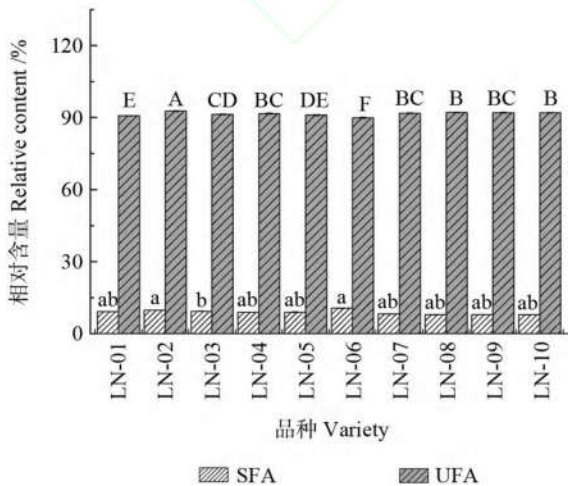


图 3 8 个品种 (系) SFA 与 UFA 比较分析  
Fig. 3 Comparative analysis of SFA and UFA in 8 varieties (lines)

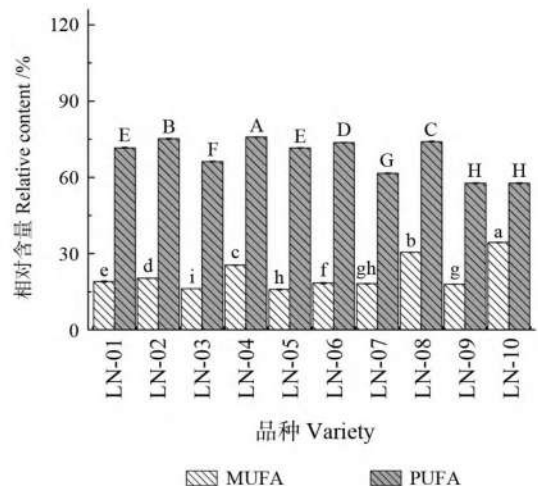


图 4 8 个品种 (系) MUFA 与 PUFA 比较分析  
Fig. 4 Comparative analysis of MUFA and PUFA in 8 varieties (lines)

表 4 8 个品种 (系) 矿质元素含量<sup>†</sup>  
Table 4 Mineral element content in 8 varieties (lines)

mg·kg<sup>-1</sup>

品种代码 Variety code	矿质元素 Mineral element			
	锌 Zinc	镁 Magnesium	磷 Phosphorus	钾 Potassium Kalium
LN-01	33.40±0.12 c	1603.00±11.20 c	3991.00±21.11 c	3392.00±23.14 f
LN-02	34.60±0.14 a	1590.00±13.21 c	3947.00±23.24 d	3654.00±25.36 c
LN-03	31.60±0.22 d	1483.00±15.33 e	3432.00±23.66 g	3552.00±24.36 d
LN-04	28.20±0.31 f	1494.00±24.21 e	3187.00±24.56 h	3111.00±26.34 g
LN-05	23.50±0.33 g	1767.00±26.31 b	4031.00±26.42 c	3428.00±33.21 f
LN-06	34.20±0.24 b	1922.00±24.12 a	4789.00±26.31 a	3784.00±24.56 a
LN-07	30.50±0.11 e	1581.00±12.3 cd	4249.00±27.33 b	3684.00±27.56 bc
LN-08	33.40±0.15 c	1551.00±22.36 d	3898.00±28.89 e	3707.00±24.56 b
LN-09	28.50±0.13 f	1593.00±35.12 c	3639.00±29.56 f	3500.00±23.54 e
LN-10	33.30±0.26 c	1776.00±16.23 b	3886.00±12.45 e	2898.00±26.31 h

#### 2.1.4 蛋白质分析结果

陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果的蛋白质含量比较分析结果如表 5 所示。由表 5 可知, 不同品种 (系) 核桃坚果的蛋白质含量均在 (158.0±2.30) ~ (221.0±2.40) g·kg<sup>-1</sup> 之间, 其中丰产抗病优树蛋白质含量最高, ‘泡核桃’ (216.0±3.70) g·kg<sup>-1</sup>、袖珍核桃 (213.0±1.11) g·kg<sup>-1</sup>、成县 ‘清香’ (193.0±1.21) g·kg<sup>-1</sup>、陇刘 1 号 (191.0±2.32) g·kg<sup>-1</sup> 蛋白质含量较高, ‘强特勒’ (185.0±5.62) g·kg<sup>-1</sup>、‘元林’ (180.0±2.41) g·kg<sup>-1</sup>、文县 ‘清香’ (176.0±2.30) g·kg<sup>-1</sup>、甘谷堆穗状核桃 (173.0±5.61) g·kg<sup>-1</sup>, 蛋白质含量次之, 黄家坝 ‘清香’ 蛋白质最低。

表 5 8 个品种 (系) 蛋白质含量比较分析<sup>†</sup>  
Table 5 Comparative analysis of protein content in 8 varieties (lines)

品种代码 Variety code	含量 Content	品种代码 Variety code	含量 Content
LN-01	158.0±2.30 b	LN-06	216.0±3.70 ab
LN-02	193.0±1.21 ab	LN-07	213.0±1.11 ab
LN-03	176.0±2.30 ab	LN-08	191.0±2.32 ab
LN-04	180.0±2.41 ab	LN-09	221.0±2.40 a
LN-05	185.0±5.62 ab	LN-10	173.0±5.61 ab

#### 2.1.5 风味分析结果

陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果风味主成分分析如图 5 所示。其中第一主成分贡献率 (PCA1) 为 77.90%, 第二主成分贡献率 (PCA2) 为 15.40%, 累积贡献率为 93.30%, 能够反映样品主要信息。陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果风味成分分析如图 6 所示。本试验研究的核桃品种, 其坚果风味成分种类主要是氮氧化合物 (W5S), 烷烃类化合物 (W1S), 含硫、含氯

的有机化合物 (W1W、W2W), 醇类以及醛酮类化合物 (W2S)。

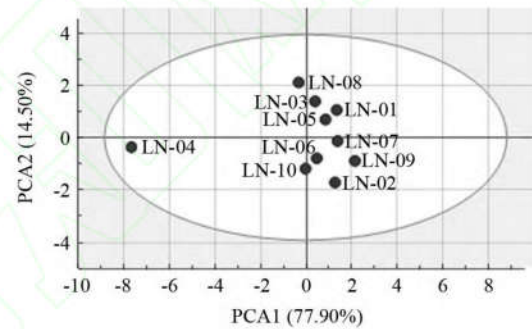


图 5 坚果风味主成分分析

Fig. 5 Principal component analysis of nut flavor

从营养品质角度分析, 虽然陇南地区 8 个品种 (系) 核桃品质差异较大, 但是坚果矿质元素与蛋白质含量均比较丰富。

## 2.2 安全品质检测结果

### 2.2.1 铅、镉含量检测结果

陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果中铅、镉含量如表 6 所示。由表 6 可知, 除丰产抗病优树检测出重金属镉 (远低于国家食品安全标准) 外, 其余品种均未检测出重金属铅与镉。因此, 陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果重金属检测合格率为 100%。

### 2.2.2 农药残留检测结果

陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果农药残留成分检测结果如表 7 所示。由表 7 可知, 常用农药残留成分包括苯醚甲环唑、氯氰菊酯、戊唑醇、溴氰菊酯, 然而在陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果中均未检测出这些农药残留成分, 说明本研究 8 个品种 (系) 核桃坚果均符合食品安全标准。从安全品质角度分析, 陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果品质甚佳。



表 8 核桃主成分分析  
Table 8 Principal component analysis of walnuts

指标 Index	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4
含油量 Oil content	0.244	0.154	-0.646	0.364
油酸 Oleic acid	-0.249	-0.802	-0.503	0.089
亚油酸 Linoleic acid	0.063	0.778	-0.449	-0.281
亚麻酸 Linolenic acid	0.716	0.309	-0.350	0.329
锌 Zinc	-0.557	-0.028	0.440	-0.344
镁 Magnesium	-0.180	0.367	0.438	0.765
磷 Phosphorus	-0.373	0.672	0.507	0.318
钾 Potassium Kalium	-0.069	0.812	0.116	-0.408
蛋白质含量 Protein content	0.442	0.545	0.565	-0.223
W5S	0.181	-0.075	0.070	-0.019
W1S	0.089	0.141	0.170	0.074
W1W	0.185	-0.047	0.073	-0.061
W2W	0.185	-0.046	0.066	-0.081
W2S	0.186	-0.028	0.098	0.012
特征值 Characteristic value	5.187	3.229	2.237	1.379
方差贡献率				
Variance contribution rate / %	37.052	23.068	15.980	9.850
累积方差贡献率				
Cumulative variance contribution rate / %	37.052	60.120	76.099	85.950

表 9 陇南 8 个品种核桃综合得分与排序  
Table 9 Comprehensive scores and ranking of eight walnut varieties in Longnan

品种代码 Variety code	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	得分 Score	排序 Sort
LN-01	3452.85	2148.632	1471.296	906.900	7979.679	8
LN-02	3451.149	2148.632	1488.432	917.463	8005.675	7
LN-03	3218.348	2003.693	1388.028	855.574	7465.643	9
LN-04	2975.283	1852.365	1283.197	790.957	6901.802	10
LN-05	3498.654	2178.207	1508.919	930.0912	8115.872	1
LN-06	3497.616	2177.562	1508.472	929.815	8113.465	2
LN-07	3493.281	2174.863	1506.602	928.663	8103.409	5
LN-08	3473.903	2162.798	1498.245	923.5114	8058.457	6
LN-09	3497.468	2177.469	1508.408	929.776	8113.121	3
LN-10	3495.319	2176.131	1507.481	929.2047	8108.136	4

### 3 讨论

作为 4 大坚果之一的核桃, 因兼顾营养与保健价值深受广大消费者青睐。本研究表明, 陇南地区 8 个品种 (系) 核桃的营养品质差异较大, 其含油量在  $(536.0 \pm 3.30) \sim (685.0 \pm 1.60) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间, 均高于张志华等<sup>[20]</sup>的研究结果  $(562.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1})$ , 但是与 Yi 等<sup>[21]</sup>的含油量研究结果  $(520 \sim 700 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1})$  相似; 脂肪酸主要成分为棕榈酸、棕榈烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸、顺-11-二十碳烯酸, 与 Caglarimak<sup>[22]</sup> 研究生长在土耳其东北部、核桃树龄在 23 ~ 47 年生

的坚果脂肪酸成分相似, 与文改等<sup>[23]</sup>研究贵州乌仁核桃, 努尔买买提·阿布地热木等<sup>[24]</sup>研究的温 185、新新 2 号核桃坚果脂肪酸主要成分种类一致, 而相对含量因品种不同存在差异。不饱和脂肪酸含量除泡核桃外, 其余 7 个品种均高于 90%, 同 Labuckas 等<sup>[25]</sup>、李俊南等<sup>[26]</sup>研究核桃中不饱和脂肪酸含量结果一致, 但均高于翟大才等<sup>[27]</sup>研究黄山市屯溪区 5 个栽培点薄壳山核桃不饱和脂肪酸含量。亚油酸是人体必需脂肪酸, 能够降低血液中胆固醇<sup>[28]</sup>, 油酸能够延长商品货架期并且耐较高的烹饪温度<sup>[29]</sup>, 本试验结果显示, 陇南 8 个品种 (系) 核桃中 PUFA 占脂肪酸成分的  $(61.6 \pm 0.15)\% \sim (75.8 \pm 0.14)\%$ , MUFA 占脂肪酸成分的  $(15.86 \pm 0.22)\% \sim (34.37 \pm 0.15)\%$ , 其中亚油酸相对含量最高, 油酸相对含量较高, 与 Wang 等<sup>[30]</sup>、Fukuda 等<sup>[31]</sup>的研究结果一致, 而 Martinez<sup>[32]</sup>、Crews 等<sup>[33]</sup>、陆俊等<sup>[34]</sup>、张亭等<sup>[35]</sup>的研究结果表明, 核桃脂肪酸中含量较高的成分是亚油酸、亚麻酸, 这主要是由核桃品种不同所导致的<sup>[36]</sup>; 同种矿质元素在陇南 8 个品种 (系) 核桃坚果中存在一定差异, 其中锌含量为  $(23.5 \pm 0.33) \sim (34.6 \pm 0.14) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 镁含量为  $(1483 \pm 15.33) \sim (1922 \pm 24.12) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 磷含量为  $(3187 \pm 24.56) \sim (4789 \pm 26.31) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 钾含量为  $(2898 \pm 26.31) \sim (3784 \pm 24.56) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。除文县‘清香’和‘元林’外, 其余品种磷的含量均高于杨旭昆等<sup>[3]</sup>研究的云南核桃坚果  $(3600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ , 然而 4 种矿质元素均高于张汇慧等<sup>[37]</sup>研究的 5 个品种薄壳山核桃, 说明陇南地区 8 个品种 (系) 核桃坚果矿质元素含量丰富; 蛋白质含量在  $(158 \pm 2.3) \sim (221 \pm 2.4) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  之间, 除黄家坝‘清香’外, 其余品种蛋白质含量均高于 Szetao 等<sup>[38]</sup>研究的加利福尼亚州斯托克顿核桃蛋白质含量  $(166.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1})$ , 并且均高于朱灿灿等<sup>[39]</sup>研究的南京 9 株核桃优树坚果蛋白质含量  $(2.76 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1})$ , 说明陇南地区适合核桃栽培<sup>[36]</sup>, 且 8 个品种 (系) 核桃坚果蛋白质含量较高; 坚果风味成分种类主要是 W5S、W1S、W1W、W2W、W2S, 与石天磊等<sup>[40]</sup>研究的 8 个品种核桃坚果风味成分种类一致。本研究选择的陇南地区核桃 8 个品种 (系) 周年管理条件相同, 而‘清香’3 个不同栽植点及武都黄家坝与文县刘家坪不同品种的坚果营养品质存在一定程度差异, 说明核桃品质与品种、气候以及立地条件有关。

目前, 学者们一般认为食品中重金属是源于采矿的灰尘、废水、矿渣对土壤的污染所造成<sup>[41]</sup>,

或者是长期使用化肥等农业投入品所导致<sup>[42]</sup>。我国在食品安全中规定铅的限量值为  $0.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、镉的限量值为  $0.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ <sup>[13]</sup>。从安全品质角度分析,陇南地区 8 个品种(系)核桃坚果重金属检测合格率为 100%、无常用农药成分残留,虽然丰产抗病优树检测出了重金属镉,但是远低于国家食品安全标准,其余品种均未检测出重金属铅和镉;而徽县泥阳检测出了重金属镉,这可能与其建园前长期使用化肥等农业投入品有关<sup>[40]</sup>。

综合分析,陇南地区 8 个品种(系)核桃品质优劣依次为‘强特勒’、‘泡核桃’、丰产抗病优树、甘谷堆穗状核桃、袖珍核桃、陇刘 1 号、成县‘清香’、黄家坝‘清香’、文县‘清香’、‘元林’。

本研究由于时间和实验条件限制,未对陇南地区核桃氨基酸组成进行检测,因此在后续核桃品质研究中将氨基酸组成列入其中进行分析,进而使核桃品质评价趋于完善、系统化。

## 4 结 论

陇南地区 8 个品种(系)核桃品质差异较大,其坚果矿质元素与蛋白质均比较丰富。其综合品质评价优劣顺序依次为‘强特勒’、‘泡核桃’、丰产抗病优树、甘谷堆穗状核桃、袖珍核桃、陇刘 1 号、成县‘清香’、黄家坝‘清香’、文县‘清香’、‘元林’。其核桃品质与品种、气候以及立地条件有关。本研究结果可以为优良核桃品种选育提供理论依据,同时可以为核桃产品开发与原料选择提供实践参考。

## 参考文献:

- [1] ZHAO H X, BAI H, JING Y C, *et al.* A pair of taxifolin-3-O-arabinofuranoside isomers from *Juglans regia* L.[J]. *Natural Product Research*,2017,31(8):945-950.
- [2] 余启明,谢代祖,蔡锦源,等.19 种不同产地核桃的营养成分及脂肪酸的分析比较研究[J]. *食品研究与开发*,2020,41(2):149-156.  
YU Q M, XIE D Z, CAI J Y, *et al.* Analysis and comparison of the nutrients and fatty acids components in 19 walnuts (*Juglans regia* L.) from different regions[J]. *Food Research and Development*,2020,41(2):149-156.
- [3] 杨旭昆,汪禄祥,叶艳萍,等.7 种云南产核桃中 17 种氨基酸含量测定与必需氨基酸模式分析[J]. *食品安全质量检测学报*,2020,11(6):1889-1894.  
YANG X K, WANG L X, YE Y P, *et al.* Quantitative determination of 17 kinds of amino acids and pattern analysis of essential amino acids in 7 local walnut varieties in Yunnan province[J]. *Journal of Food Safety and Quality*,2020,11(6):1889-1894.
- [4] ORHAN I E, SUNTAR I, AKKOL E K, *et al.* *In vitro* neuroprotective effects of the leaf and fruit extracts of *Juglans regia* L. (walnut) through enzymes linked to Alzheimer's disease and antioxidant activity[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*,2011,62(8):781-786.
- [5] CAREY A N, FISHER D R, JOSEPH J A, *et al.* The ability of walnut extract and fatty acids to protect against the deleterious effects of oxidative stress and inflammation in hippocampal cells[J]. *Nutritional Neuroscience*,2013,16(1):13-20.
- [6] 夏玉洁,姚小华,王开良,等.不同无性系山核桃结果性状对比分析[J]. *中南林业科技大学学报*,2018,38(11):53-60.  
XIA Y J, YAO X H, WANG K L, *et al.* Analysis of fatty acids and amino acid composition in *Carya cathayensis* clones[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*,2018,38(11):53-60.
- [7] MORACUBILLOS X, TULIPANI S, GARCIAALOY M, *et al.* Plasma metabolomic biomarkers of mixed nuts exposure inversely correlate with severity of metabolic syndrome[J]. *Molecular Nutrition and Food Research*,2015,59(12):2480-2490.
- [8] 邢海亮,余旭亚,耿树香,等.虾青素油对核桃油抗氧化性及货架期的影响[J]. *中国油脂*,2020,45(5):105-109.  
XING H L, YU X Y, GENG S X, *et al.* Effect of astaxanthin oil on oxidative stability and shelf life of walnut oil[J]. *China Oils and Fats*,2020,45(5):105-109.
- [9] 常君,任华东,姚小华,等.山核桃不同无性系脂肪酸及氨基酸组成分析[J]. *中南林业科技大学学报*,2018,38(4):20-26.  
CHANG J, REN H D, YAO X H, *et al.* Study on the seed germination characteristic of *Carya illinoensis*[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*,2018,38(4):20-26.
- [10] 辛国,汪海,郑小平,等.甘肃陇南地区核桃优良单株调查及初步筛选[J]. *安徽农业科学*,2020,48(9):133-136.  
XIN G, WANG H, ZHENG X P, *et al.* Superior individual plant investigation and preliminary screening of walnut in Longnan area of Gansu[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*,2020,48(9):133-136.
- [11] 张海燕,汪海,任志勇,等.核桃配方专用肥对核桃树产量及坚果品质的影响[J]. *经济林研究*,2020,38(3):127-135.  
ZHANG H Y, WANG H, REN Z Y, *et al.* Effect of special fertilizer for walnut on yield and nut quality of walnut tree[J]. *Non-wood Forest Research*,2020,38(3):127-135.
- [12] 王惠明,张进德,杨永兴,等.陇南核桃青皮色素对羊毛的染色性能研究[J]. *毛纺科技*,2019,47(5):50-53.  
WANG H M, ZHANG J D, YANG Y X, *et al.* Study on the performance of wool dyeing with walnut husk of Longnan[J]. *Wool Textile Journal*,2019,47(5):50-53.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品



- 监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定 :GB 5009.168—2016[S]. 北京 : 中国标准出版社 ,2016.
- State Health and Family Planning Commission of the people's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fatty acids in food: GB 5009.168-2016 [S]. Beijing: China Standard Press,2016.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定 :GB 5009.268—2016[S]. 北京 : 中国标准出版社 ,2016
- National Health Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of multi-elements in food: GB 5009.268-2016[S]. Beijing: China Standard Press,2016.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 :GB 5009.5—2016[S]. 北京 : 中国标准出版社 ,2016
- National Health Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of protein in food: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standard Press,2016.
- [16] 张正武, 王勃, 林云, 等. 基于电子鼻技术的陇南花椒品种区分 [J]. 经济林研究 ,2019,37(4):188-193.
- ZHANG Z W, WANG B, LIN Y, *et al.* Identification of Longnan pepper cultivars based on electronic nose technology[J]. Non-wood Forest Research,2019,37(4):188-193.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量 :GB 2762—2017[S]. 北京 : 中国标准出版社 ,2017
- National Health Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Limits of contaminants in food: GB 2762-2017[S]. Beijing: China Standard Press,2017.
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留量 :GB 2763-2019[S]. 北京 : 中国标准出版社 ,2019.
- National Health Commission of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, State Administration of Market Supervision and Administration. National food safety standard Maximum residues of pesticides in food: GB 2763-2019 [S]. Beijing: China Standard Press,2019.
- [19] 耿树香, 韩明珠, 宁德鲁, 等. 云南不同产地漾濞泡核桃品质综合评价分析 [J]. 中国油脂 ,2019,44(5):156-160.
- GENG S X, HAN M Z, NING D L, *et al.* Comprehensive evaluation and analysis of the quality of Yangbi bubble walnut from different habitats in Yunnan[J]. China Oils and Fats,2019,44(5):156-160.
- [20] 张志华, 裴东. 核桃学 [M]. 北京 : 中国农业出版社 ,2018:5-6.
- YANG Z H, PEI D. Walnut science[M]. Beijing: China Agricultural Press,2018:5-6.
- [21] YI J H, SUN Y F, ZHU Z B, *et al.* Near-infrared reflectance spectroscopy for the prediction of chemical composition in walnut kernel[J]. International Journal of Food Properties, 2017,20(7):1633-1642.
- [22] CAGLARIRMAK N. Biochemical and physical properties of some walnut genotypes (*Juglans regia* L.)[J]. Molecular nutrition and food research,2003,47(1):28-32.
- [23] 文波, 耿阳阳, 王港, 等. 贵州乌仁核桃果实特性及主要营养成分分析 [J]. 粮油食品科技 ,2017,25(2):34-38.
- WEN T, GENG Y Y, WANG G, *et al.* Analysis of the characteristics and primary nutrients in purple-kernel walnut from Guizhou[J]. Science and Technology of Cereals,2017,25(2):34-38.
- [24] 努尔买买提·阿布地热木, 龙建春, 阿力木·阿木提, 等. 温 185、新新 2 号核桃及后代坚果脂肪酸含量比较 [J]. 中国粮油学报 ,2018,33(11):52-60.
- NUERMAIMAITI A, LONG J C, ALIMU A, *et al.* Comparison of fatty acid contents in nuts of Wen 185, Xinxin No.2 walnut and their offsprings[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2018,33(11):52-60.
- [25] LABUCKAS D O, MAESTRI D M, LAMARQUE A L, *et al.* Lipid and protein stability of partially defatted walnut flour (*Juglans regia* L.) during storage[J]. International Journal of Food Science and Technology,2011,46(7):1388-1397.
- [26] 李俊南, 习学良, 熊新武, 等. 核桃的营养保健功能及功能成分研究进展 [J]. 中国食物与营养 ,2018,24(5):60-64.
- LI J N, XI X L, XIONG X W, *et al.* Nutritional function and functional components of walnut[J]. Food and Nutrition in China,2018,24(5):60-64.
- [27] 翟大才, 毕淑峰, 王娜娜. 黄山市屯溪区薄壳山核桃形态指标、营养成分及其相关性研究 [J]. 黄山学院学报 ,2016,18(5):41-44.
- DI D C, BI S F, WANG N N. A study on the morphological index and nutrient components of *Carya illinoensis* in Tunxi district of Huangshan city and their correlation[J]. Journal of Huangshan University,2016,18(5):41-44.
- [28] CAREY A N, FISHER D R, JOSEPH J A, *et al.* The ability of walnut extract and fatty acids to protect against the deleterious effects of oxidative stress and inflammation in hippocampal cells[J]. Nutritional Neuroscience,2013,16(1):13-20.
- [29] 王葵, 汤富彬, 钟冬莲, 等. 4 种胡桃科坚果中氨基酸和脂肪酸组成分析与营养评价 [J]. 中国油脂 ,2020,45(4):86-91.
- WANG R, TANG F L, ZHONG D L, *et al.* Composition analysis and nutrition evaluation of amino acids and fatty acids in four nuts of Juglandaceae[J]. China Oils and Fats,2020,45(4):86-91.
- [30] WANG X M, CHEN H X, LI S Q, *et al.* Physico - chemical properties, antioxidant activities and antihypertensive effects of walnut protein and its hydrolysate[J]. Journal of the Science of

- Food and Agriculture,2016,96(7):2579-2587.
- [31] FUKUDA T, ITO H, YOSHIDA T, *et al.* Effect of the walnut polyphenol fraction on oxidative stress in type 2 diabetes mice[J]. *Biofactors*,2004,21(1):251-253.
- [32] MARTINEZ M L. Extraccion y caracterizacion de aceite de nuez (*Juglans regia* L.): influencia del cultivary de factores tecnologicos sobre su composicion y estabilidad oxidativa[D]. Cordoba: Universidad Nacional de Cordoba,2010.
- [33] CREWS C, HOUGH P, GODWARD J, *et al.* Study of the main constituents of some authentic walnut oils[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,2005,53(12):4853-4860.
- [34] 陆俊,赵安琪,成策,等. 核桃营养成分与生理活性及开发利用[J]. *食品与机械*,2014,30(6):238-242.  
LU J, ZHAO A Q, CHENG C, *et al.* Nutrient composition, physiological activity, and development and utilization on walnut[J]. *Food and Machinery*,2014,30(6):238-242.
- [35] 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 J, LI Y. Nutritional component and health functions of walnuts[J]. *Food and Nutrition in China*,2018,24(7):64-69.
- [36] MARTINEZ M L, MAESTRI D M. Oil chemical variation in walnut (*Juglans regia* L.) genotypes grown in Argentina[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*,2008,110(12):1183-1189.
- [37] 张汇慧,吴彩娥,李永荣,等. 不同品种薄壳山核桃营养成分比较[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*,2014,38(3):55-58.
- ZHANG H H, WU C E, LI Y R, *et al.* Comparison of nutritive compositions in different cultivars of pecans[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences)*,2014,38(3):55-58.
- [38] SZETAO K W, SATHE S K. Walnuts (*Juglans regia* L.): proximate composition, protein solubility, protein amino acid composition and protein in vitro digestibility[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*,2000,80(9):1393-1401.
- [39] 朱灿灿,耿国民,周久亚,等. 南京早期引种的薄壳山核桃不同单株果实品质分析[J]. *经济林研究*,2012,30(2):10-14.  
ZHU C C, GENG G M, ZHOU J Y, *et al.* Analysis on nut quality characters of *Carya illinoensis* introduced early in Nanjing[J]. *Non-wood Forest Research*,2012,30(2):10-14.
- [40] 石天磊,李晓颖,左波,等. 8份核桃资源坚果主要香气物质分析[J]. *果树学报*,2020,37(7):1016-1024.  
SHI T L, LI X Y, ZUO B, *et al.* Analysis of main aroma substances in eight walnut accessions[J]. *Journal of Fruit Science*,2020,37(7):1016-1024.
- [41] 柯海玲,李贤,徐友宁,等. 小秦岭金矿带农田土壤重金属的时空变异趋势及其意义[J]. *地质通报*,2014,33(8):1196-1204.  
KE H L, LI X, XU Y N, *et al.* Temporal and spatial variation of heavy metal contamination of farmland soil along the Xiaoqinling gold ore belt and its significance[J]. *Geological Bulletin of China*,2014,33(8):1196-1204.
- [42] ATAFAR Z, MESDAGHINA A, NOURI J, *et al.* Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*,2010,160(1):83-89.

[ 本文编校: 李义华 ]