

20 种新鲜核桃脂肪酸与卵磷脂品质分析

Quality analysis of fatty acids and lecithin composition of 20 kinds of fresh walnut

晏梦溪^{1,2,3} 刘婧玮^{1,2,3} 徐珂鹏^{1,2,3} 宋 杰^{1,2,3} 李忠军^{1,2,3}

YAN Meng-xi^{1,2,3} LIU Jing-wei^{1,2,3} XU Ke-peng^{1,2,3} SONG Jie^{1,2,3} LI Zhong-jun^{1,2,3}

(1. 四川省轻工业研究设计院有限公司, 四川 成都 610081; 2. 国家轻工业食品质量监督检测成都站, 四川 成都 610081; 3. 工信部食品企业质量安全检测技术示范中心, 四川 成都 610081)

(1. Sichuan Light-industry Research & Design Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610081, China;

2. National Light Industry Food Quality Inspection Chengdu Station, Chengdu, Sichuan 610081, China;

3. Food Enterprise Quality and Safety Testing Technology Demonstration Center, Chengdu, Sichuan 610081, China)

摘要:目的:探讨新鲜核桃的脂肪酸与卵磷脂种类和含量的相关性。方法:选取 20 种四川成都具有代表性的优良核桃品种为研究对象,采用气相色谱和高效液相色谱进行定量测定,并用相关性分析和聚类分析方法对结果进行信息分析。结果:20 种新鲜核桃脂肪酸组成成分基本一致,但含量有显著性差异($P < 0.05$),油酸含量最高的品种是陇南 15 号;亚油酸、花生酸、顺-11-二十碳烯酸含量最高的品种均是广丰 1 号;卵磷脂变异系数相对较小,含量最高的品种是西洛 3 号。新鲜核桃中卵磷脂含量与脂肪酸含量有较高的关联性,并且脂肪酸组分中饱和脂肪酸关联程度较高。当欧式距离为 15 时,可以将 20 种核桃分为 3 类。结论:陇南 15 号、广丰 1 号是油脂质量相对较好的新鲜核桃品种资源;西洛 3 号是卵磷脂含量相对较高的新鲜核桃品种资源。

关键词:核桃;脂肪酸;卵磷脂;相关性分析;聚类分析

Abstract: Objective: This study aims to explore the correlation between the types and contents of fatty acids and lecithin in fresh walnut. Methods: A kinds of 20 walnuts were selected from Chengdu in Sichuan Province. The method of the gas chromatography and the high performance liquid chromatography were used for quantitative determination. Correlation analysis and cluster analysis were used to analyze the results. Results: The fatty acid composition of 20 kinds of fresh walnut was the same basically,

with significant differences in content ($P < 0.05$). Longnan 15 had the highest oleic acid content. The contents of linoleic acid, arachidonic acid and cis-11-eicosenoic acid of Guangfeng 1 were the highest. The variation coefficient of lecithin was relatively small, and the content of lecithin was the highest in Xilo 3. The content of lecithin in fresh walnut had a high correlation with the content of fatty acids, and unsaturated fatty acids are highly associated. When the euclidean distance was 15, the 20 walnut species could be divided into 3 categories. Conclusion: Longnan 15 and Guangfeng 1 are walnut varieties with high oil quality relatively; Xilo 3 is a walnut variety resource with high content of lecithin relatively.

Keywords: walnut; fatty acids; lecithin; correlation analysis; cluster analysis

核桃(*Juglans regia* L.),又称胡桃、羌桃,是世界著名的“四大干果”之一^[1]。中国是世界上核桃起源地之一,四川是中国核桃种植生产大省。自 20 世纪 60 年代开始,四川陆续从云南、辽宁、新疆等地引进优良品种,并利用省外优良品种与四川本地乡土品种杂交得到了一批四川优良核桃品种^[2]。

近年来,关于核桃的研究大多集中在干核桃中,包括对核桃本身品质研究^[3-5]、油脂营养价值研究^[6-7]、品种选育种研究^[8-9]方面,而关于新鲜核桃的报道较少,对新鲜核桃卵磷脂的研究更是鲜有涉及。有相关研究表明,新鲜核桃的营养价值高于干核桃^[10],其最佳的贮藏温度为 $-7 \sim -5$ °C^[11]。并且,核桃的不饱和脂肪酸成分不仅有利于青少年神经心理发展^[12],同时对妊娠糖尿病患者糖代谢和脂质代谢也具有有益影响^[13]。卵磷脂是除蛋白质、维生素以外的“第三营养素”,是生命和健康的必

基金项目:四川省科技成果转化项目(编号:2020JDZH0012);成都市科技项目(编号:2020-YF09-00032-SN)

作者简介:晏梦溪,女,四川省轻工业研究设计院有限公司中级工程师,硕士。

通信作者:刘婧玮(1989—),女,四川省轻工业研究设计院有限公司中级工程师,硕士。E-mail:liujingwei@sclii.com

收稿日期:2021-07-29

需物质,同样肩负着细胞的能量代谢、营养代谢、信息传递等重要功能,国内外对卵磷脂的开发与研究现大多集中于大豆和蛋黄^[14],有相关报道^[15]称,植物性卵磷脂在菠菜、土豆、胡萝卜、苹果中的含量范围为 0.09 ~ 0.30 g/100 g,目前市场上的大豆卵磷脂存在着供不应求且纯度低的问题。核桃卵磷脂不仅可以作为商品卵磷脂的新来源,而且可以丰富市售卵磷脂的种类,还能提高核桃的附加值。因此,研究拟选取 20 种具有代表性的四川成都优良新鲜核桃,通过相关性分析和聚类分析,比较新鲜核桃中脂肪酸、卵磷脂的种类及含量的相关性,以期对四川成都地区核桃资源开发和综合利用提供可靠支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

20 种新鲜核桃(见表 1):于 2020 年 10 日采自四川省成都市核桃示范种植园中。采摘时选取色泽一致、大小均一,单颗重量为(28±3) g,无病虫害和机械损伤的果实,采收后进行脱皮、清洗、晾干表面水分,在-2~0℃条件下预冷 24 h 后运输回四川省轻工业研究设计院有限公司内,装入核桃保鲜袋,于冷库进行-7~-5℃冷冻贮藏,备用;

脂肪酸甘油三酯标准品、单个脂肪酸甲酯标准溶液:纯度>99%,上海甄准生物科技有限公司;

37 种混合脂肪酸甲酯标准品:纯度 96.9%~99.9%,上海甄准生物科技有限公司;

焦性没食子酸、乙醇(95%)、盐酸、乙醚、石油醚(沸程 30~60℃)、氢氧化钠、三氟化硼甲醇溶液(浓度为 15%)、氯化钠、无水硫化钠、氢氧化钾、硫酸氢钠:分析纯,上海国药集团化学制剂有限公司;

甲醇、正庚烷、异辛烷:色谱纯,上海国药集团化学制剂有限公司;

水:GB/T 6682 规定的一级水,上海国药集团化学制剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

气相色谱仪:7890B 型,安捷伦科技有限公司;

高效液相色谱仪:LC-20AT 型,安捷伦科技有限公司;

水浴锅:DZKW-4 型,北京中兴伟业仪器有限公司;

分析天平:JJ100B 型,常熟市双杰测试仪器厂;

电子天平:JJ3000 型,常熟市双杰测试仪器厂;

离心机:TGL-16C 型,上海安亭科学仪器厂;

旋转蒸发仪:RE-52CS 型,上海贤德实验仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 核桃脂肪酸组成及含量测定 脂肪酸测定参照 GB 5009.168—2016,试样经水解—乙醚溶液提取其中的脂肪后,生成脂肪酸甲酯,经毛细管柱气相色谱分析,外标法定量测定脂肪酸含量。

取单个脂肪酸甲酯标准溶液和脂肪酸甲酯混合标准溶液分别注入气相色谱仪,对色谱峰进行定性。气相色谱分析条件:毛细管色谱柱(聚二氰丙基硅氧烷强极性固定相,100 m×0.25 mm×0.2 μm);进样器温度 270℃;检测器温度 280℃;程序升温:初始温度 100℃,保持 2.5 min,升温速率 10℃/min,升到 180℃保持 6 min,升温速率 1℃/min,升到 200℃,保持 20 min,升温速率 4℃/min,升到 230℃保持 10 min;载气为氮气;分流比 100:1;进样体积 1.0 μL。以脂肪酸保留时间定性,采用外标法进行定量。

1.2.2 核桃卵磷脂含量测定 根据文献[16],修改如下:准确称取核桃试样 5 g(精确到 0.001 g),置于 50 mL 离心管中,加入甲醇约 10 mL,用高速分散均质机均质 2 min,然后将样品转移至 25 mL 容量瓶中,超声 30 min,待冷却至室温,用甲醇定容至刻度摇匀,过微孔滤膜(0.45 μm),供液相色谱仪分析。

高效液相色谱分析条件: C₁₈ 色谱柱(5 μm×250 mm×4.6 mm);流动相为甲醇;流速 0.8 mL/min;柱温 35℃;进样量 10 μL;检测波长 205 nm。

按式(1)计算核桃中卵磷脂含量。

$$X = \frac{c \times V \times f \times 100}{m \times 1\,000 \times 1\,000}, \tag{1}$$

式中:

X——试样中待测物含量,%;

c——从标准曲线中读出的样液中各待测物浓度,mg/L;

V——样液最终定容体积,mL;

m——试样溶液所代表的质量,g;

f——稀释倍数。

1.2.3 数据处理 所有数据采用 Excel 和 SPSS 21 软件

表 1 20 种新鲜核桃信息

Table 1 Information of 20 fresh walnut

编号	品种名称	编号	品种名称
Case 1	南核 1 号	Case 11	中林 5 号
Case 2	温 185	Case 12	旺核 2 号
Case 3	扎 346	Case 13	元源早
Case 4	孝核 1 号	Case 14	鲁光
Case 5	西扶 1 号	Case 15	新早丰
Case 6	西林 3 号	Case 16	广丰 1 号
Case 7	西洛 3 号	Case 17	广丰 2 号
Case 8	川早 1 号	Case 18	扎 71
Case 9	川早 2 号	Case 19	陇南 15 号
Case 10	青川 1 号	Case 20	盐源早

进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 核桃脂肪酸组成及含量

由表 2 可知,20 种新鲜核桃的主要脂肪酸组成成分一致,分别是棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸、顺-11-二十碳烯酸,不同种类新鲜核桃脂肪酸含量具有显著性差异($P<0.05$)。饱和脂肪酸含量为 9.09%~12.90%,变异系数为 8.92%,不饱和脂肪酸含量为 87.10%~90.91%,变异系数为 1.07%,说明四川成都核桃脂肪酸含量变异系数小,较稳定。油酸含量最高的品种是“陇南 15 号”,29.13%;亚油酸、花生酸、顺-11-二十碳

烯酸含量最高的品种均是“广丰 1 号”,分别为 63.040%,0.163%,0.274%,脂肪酸组分以油酸和亚油酸等不饱和脂肪酸为主。卵磷脂变异系数相对较小,为 11.12%,卵磷脂含量最高的品种是“西洛 3 号”,0.457 g/100 g。结果表明:花生酸的变异系数最大,27.84%,亚油酸的变异系数最小,5.76%;“孝核 1 号”的不饱和脂肪酸含量显著高于其他品种($P<0.05$),总量达 90.91%，“广丰 1 号”的亚油酸和顺-11-二十碳烯酸的含量均显著高于其他品种($P<0.05$)。

2.2 核桃脂肪酸和卵磷脂相关性分析

20 种新鲜核桃脂肪酸、卵磷脂之间存在一定的相关性。如表 3 所示,卵磷脂含量与硬脂酸、油酸含量呈极显著负

表 2 20 种新鲜核桃脂肪酸和卵磷脂组成及含量[†]

Table 2 Composition and content of 20 kinds of fresh walnut fatty acids and lecithin										%
样品	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	花生酸	顺-11-二十碳烯酸	卵磷脂	SFA	UFA
Case 1	7.97 ^a	2.81 ^{gh}	15.46 ^t	59.87 ⁱ	13.65 ^b	0.075 ^h	0.175 ^g	0.406 ^f	10.85 ^b	89.15 ⁱ
Case 2	7.40 ^{cde}	2.27 ^j	15.62 ^s	58.86 ^j	15.62 ^a	0.052 ⁱ	0.162 ⁱ	0.435 ^c	9.73 ^o	90.27 ^c
Case 3	6.90 ^{hi}	2.82 ^{gh}	23.78 ^h	57.77 ^l	8.53 ^j	0.065 ⁱ	0.142 ⁱ	0.443 ^c	9.78 ⁿ	90.22 ^d
Case 4	6.30 ^{jk}	2.70 ^{hi}	24.19 ^g	58.15 ^k	8.39 ^k	0.085 ^h	0.185 ^f	0.442 ^c	9.09 ^a	90.91 ^a
Case 5	7.29 ^{def}	2.75 ^h	17.97 ^o	60.14 ^h	11.60 ^d	0.085 ^g	0.168 ^h	0.417 ^e	10.12 ^l	89.88 ^f
Case 6	7.05 ^g	2.99 ^{gh}	23.07 ⁱ	57.32 ^m	9.31 ^g	0.096 ^f	0.172 ^h	0.446 ^b	10.13 ^l	89.87 ^f
Case 7	7.23 ^{defg}	2.28 ^j	20.27 ^k	60.77 ^d	9.18 ^h	0.064 ⁱ	0.203 ^e	0.457 ^a	9.58 ^p	90.42 ^b
Case 8	6.40 ^{ij}	3.93 ^{de}	28.95 ^b	51.51 ^t	8.91 ⁱ	0.078 ^h	0.223 ^c	0.331 ⁿ	10.41 ^k	89.59 ^g
Case 9	7.97 ^a	4.88 ^a	19.49 ^l	61.00 ^c	6.37 ^q	0.104 ^{ef}	0.187 ^f	0.396 ^g	12.96 ^a	87.10 ^o
Case 10	7.31 ^{de}	3.93 ^{ef}	27.28 ^d	53.62 ^r	7.56 ^o	0.091 ^g	0.209 ^e	0.351 ^l	11.34 ^d	88.66 ^l
Case 11	7.17 ^{defg}	2.43 ^{ij}	16.89 ^p	60.23 ^g	12.88 ^c	0.122 ^d	0.272 ^a	0.433 ^d	9.73 ^o	90.27 ^c
Case 12	6.56 ^{hij}	4.59 ^{ab}	25.17 ^f	57.07 ⁿ	6.26 ^r	0.120 ^d	0.231 ^c	0.390 ^h	11.27 ^f	88.73 ^k
Case 13	7.10 ^{fg}	4.32 ^{bc}	27.60 ^c	52.48 ^s	8.15 ^m	0.123 ^d	0.228 ^d	0.319 ^o	11.55 ^c	88.45 ^m
Case 14	7.75 ^{ab}	2.87 ^{gh}	26.10 ^e	54.87 ^p	8.05 ⁿ	0.140 ^b	0.218 ^d	0.334 ⁿ	10.76 ^j	89.24 ^h
Case 15	7.79 ^a	3.12 ^g	19.05 ⁿ	60.30 ^f	9.39 ^g	0.128 ^c	0.216 ^d	0.428 ^d	11.04 ^g	88.96 ^j
Case 16	7.44 ^{cd}	3.70 ^{ef}	15.88 ^r	63.04 ^a	9.51 ^f	0.163 ^a	0.274 ^a	0.376 ⁱ	11.30 ^e	88.70 ^k
Case 17	7.44 ^{cd}	4.36 ^{bc}	16.85 ^q	62.75 ^b	8.22 ^l	0.114 ^e	0.263 ^b	0.389 ⁱ	11.92 ^b	88.08 ⁿ
Case 18	7.56 ^{bc}	3.84 ^{ef}	19.09 ^m	60.60 ^e	8.50 ^j	0.127 ^c	0.274 ^a	0.372 ^j	11.53 ^c	88.47 ^m
Case 19	6.14 ^k	3.60 ^{ef}	29.13 ^a	53.98 ^q	6.83 ^p	0.117 ^d	0.208 ^e	0.343 ^m	9.86 ^m	90.14 ^e
Case 20	6.66 ^h	4.05 ^{cd}	21.46 ^j	56.29	11.23 ^e	0.100 ^e	0.220 ^d	0.356 ^k	10.80 ⁱ	89.20 ^h
变异系数	7.52	23.57	21.41	5.76	26.02	27.84	18.24	11.12	8.92	1.07

† 同列字母不同表示有显著性差异($P<0.05$);SFA 表示饱和脂肪酸;UFA 表示不饱和脂肪酸。

表 3 指标相关性分析[†]

Table 3 Correlation analysis of indexes								
指标	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	花生酸	顺-11-二十碳烯酸	卵磷脂
棕榈酸	1.000							
硬脂酸	-0.062	1.000						
油酸	-0.619**	0.297	1.000					
亚油酸	0.530*	-0.188	-0.892**	1.000				
亚麻酸	0.247	-0.630**	-0.635**	0.265	1.000			
花生酸	0.167	0.406	0.020	0.095	-0.361	1.000		
顺-11-二十碳烯酸	0.059	0.405	-0.094	0.158	-0.209	0.751**	1.000	
卵磷脂	0.148	-0.610**	-0.563**	0.630**	0.386	-0.471*	-0.439	1.000

† * 表示在 0.05 水平上显著相关,** 表示在 0.01 水平上显著相关。

相关($P<0.01$),与亚油酸含量呈极显著正相关($P<0.01$),与花生酸呈显著负相关($P<0.05$);顺-11-二十碳烯酸含量与花生酸含量呈极显著正相关($P<0.01$);亚麻酸含量与硬脂酸和油酸含量呈极显著负相关($P<0.01$);亚油酸含量与油酸含量呈极显著负相关($P<0.01$);油酸含量与棕榈酸含量呈极显著负相关($P<0.01$)。由相关性分析结果可知,20 种新鲜核桃中卵磷脂含量与脂肪酸含量有较高的关联性,其中,与张莹莹等^[17]的研究结果一致的是:与脂肪酸组分中不饱和脂肪酸关联程度较高。因此,在选育优质卵磷脂核桃资源时,应着重考虑不饱和脂肪酸的含量,优先考虑亚油酸含量较高,硬脂酸含量较低的核桃品种。

2.3 聚类分析

为进一步研究 20 种新鲜核桃脂肪酸和卵磷脂的特性,将指标数据进行标准化转换后,采用欧式距离离差平方和方法进行系统聚类,结果如图 1 和表 4 所示。欧式距离为 15 时,可将 20 种核桃分为 3 类,第 I 类包含 6 种核桃,广丰 2 号、扎 71、广丰 1 号、新早丰、中林 5 号和川早 2 号,这类核桃不饱和脂肪酸中的亚油酸、顺-11-二十碳烯酸平均含量显著高于其他两类核桃($P<0.05$),平均含量分别为 61.32%,0.25%;第 II 类包含 7 种核桃,南核 1 号、西扶 1 号、温 185、扎 346、西林 3 号、孝核 1 号和西洛 3 号,这类核桃的卵磷脂平均含量为 4.07%,显著高于其他两类核桃($P<0.05$),饱和脂肪酸中的硬脂酸、花生酸平均含量显著低于其他两类核桃($P<0.05$);第 III 类包含 7 种核桃,青川 1 号、元源早、川早 1 号、陇南 15 号、旺核 2 号、盐源早和鲁光,这类核桃不饱和脂肪酸中的油酸平均含量为 26.53%,显著高于其他两类核桃($P<0.05$),卵磷脂平均含量显著低于其他两类核桃($P<0.05$);另外,这 3 类核桃的亚麻酸含量无显著差异。因此,选育和

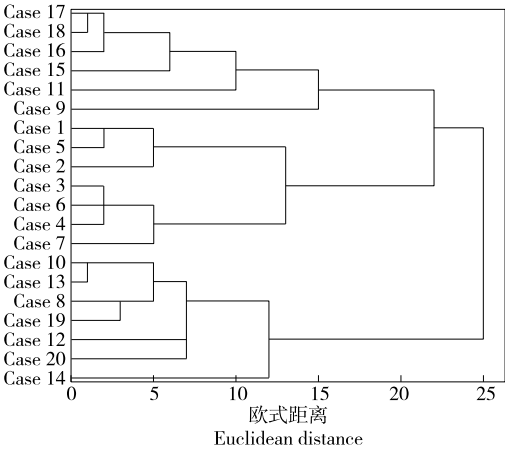


图 1 脂肪酸和卵磷脂含量的聚类分析
Figure 1 Cluster analysis of fatty acid and lecithin content

表 4 3 类核桃数据统计比较[†]
Table 4 Statistical comparison of 3 kinds of walnut data

指标	总体均值	统计数据	I (6)	II (7)	III (7)
棕榈酸	7.19	最大值	7.97	7.97	7.75
		最小值	7.17	6.30	6.14
		平均值	7.56 ^a	7.16 ^{ab}	6.85 ^b
		变异系数	3.76	7.08	8.27
硬脂酸	3.43	最大值	4.88	2.99	4.59
		最小值	2.43	2.27	2.87
		平均值	3.72 ^a	2.66 ^b	3.90 ^a
		变异系数	23.37	10.33	14.22
油酸	21.48	最大值	19.49	24.19	29.13
		最小值	15.88	15.46	21.46
		平均值	17.87 ^b	20.05 ^b	26.53 ^a
		变异系数	8.48	18.79	9.98
亚油酸	58.19	最大值	63.04	60.77	57.07
		最小值	60.23	57.32	51.51
		平均值	61.32 ^a	58.98 ^b	54.26 ^c
		变异系数	2.04	2.22	3.66
亚麻酸	9.40	最大值	12.88	15.62	11.23
		最小值	6.37	8.39	6.26
		平均值	9.14 ^a	10.90 ^a	8.14 ^a
		变异系数	23.53	25.89	19.88
花生酸	0.10	最大值	0.16	0.10	0.14
		最小值	0.10	0.05	0.08
		平均值	0.13 ^a	0.07 ^b	0.11 ^a
		变异系数	16.05	20.33	19.47
顺-11-二十碳烯酸	0.21	最大值	0.27	0.20	0.23
		最小值	0.19	0.14	0.21
		平均值	0.25 ^a	0.17 ^c	0.22 ^b
		变异系数	14.86	11.08	4.00
卵磷脂	0.39	最大值	0.43	0.46	0.39
		最小值	0.37	0.41	0.32
		平均值	0.40 ^b	0.44 ^a	0.35 ^c
		变异系数	6.50	4.07	6.64

† 字母不同表示不同类别组间有显著性差异($P<0.05$)。

栽培优质核桃油脂资源时,优先选择第 I 类或第 III 类核桃品种;选育和栽培高卵磷脂含量的核桃资源时,可以选择第 II 类核桃品种。

3 结论

对四川成都地区 20 种新鲜核桃的主要脂肪酸研究表明:不同种类新鲜核桃脂肪酸组成成分基本一致,但含量均有差异,油酸含量最高的品种是陇南 15 号;亚油酸、花生酸、顺-11-二十碳烯酸含量最高的品种均是广丰 1

号;卵磷脂变异系数相对较小,含量最高的品种是西洛 3 号。相关性分析研究表明:20 种核桃卵磷脂含量与脂肪酸含量有较高的关联性,并且脂肪酸组分中不饱和脂肪酸关联程度较高。聚类分析研究表明:在欧式距离为 15 时,可将 20 种核桃分为 3 类,第 I 类和第 III 类核桃品种的脂肪酸品质较好,第 II 类核桃的卵磷脂含量较高。综上所述,陇南 15 号、广丰 1 号是油脂质量相对较好的新鲜核桃品种资源;西洛 3 号是卵磷脂含量相对较高的新鲜核桃品种资源。

参考文献

- [1] 郗荣庭, 张毅萍. 中国核桃[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 54-56.
CHI Rong-ting, ZHANG Yi-ping. Chinese walnut [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 54-56.
- [2] 周于波, 朱鹏, 龚伟, 等. 四川核桃良种 SSR 指纹图谱构建及遗传多样性分析[J]. 西北植物学报, 2018, 38(7): 1 254-1 261.
ZHOU Yu-bo, ZHU Peng, GONG Wei, et al. SSR fingerprint construction and genetic diversity analysis of elite *Juglans regia* cultivars in Sichuan[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2018, 38(7): 1 254-1 261.
- [3] KAFKAS Ebru, ATTAR Sule Hilal, GUNDESLI Muhammet Ali, 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 (S3): S1 711-S1 720.
- [4] WU Shu-tian, NI Zhang-lin, WANG Ruo-hui, et al. The effects of cultivar and climate zone on phytochemical components of walnut (*Juglans regia* L.)[J]. Food and Energy Security, 2020, 9(3): 1-13.
- [5] LIU Bing-hua, LIANG Jing, ZHAO Deng-chao, et al. Morphological and compositional analysis of two walnut (*Juglans regia* L.) cultivars growing in China[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2020, 75(7): 116-123.
- [6] TUREK Katarzyna, WSZOLEK Monika. Comparative study of walnut and Camelina sativa oil as a functional components for the unsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid enrichment of kefir[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 147: 111681.
- [7] ISAM A Mohamed Ahmed, FAHAD Y Al-Juhaimi, MEHMET Musa Özcan, et al. Effects of cold-press and soxhlet extraction systems on antioxidant activity, total phenol contents, fatty acids, and tocopherol contents of walnut kernel oils [J]. Journal of Oleo Science, 2019, 68(2): 167-173.
- [8] 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 Jun, REN Hua-dong, YAO Xiao-hua, et al. Comparative analysis of nutrient composition and fatty acid composition of 41 varieties of hickory caryal fruits[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43(2): 20-30.
- [9] 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 Guo, ZHU Jian-chao, WANG Hai, et al. Comparison of quality difference of 8 walnut varieties (lines) in Longnan area[J]. Non-wood Forest Research, 2020, 38(4): 52-61.
- [10] BURANASOMPOB A. Rancidity and lipoxygenase activity of al-mongs M S thesis[M]. Pullman, WA: Washington State University, 2001: 22-23.
- [11] 景鑫鑫, 颜敏华, 吴小华, 等. 不同冻藏温度对去青皮鲜核桃采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45 (10): 161-167.
JING Xin-xin, XIE Min-hua, WU Xiao-hua, et al. Effects of different freezing temperatures on the post-harvest physiology and storage quality of peeled fresh walnuts[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(10): 161-167.
- [12] JULVEZ Jordi, GIGNAC Florence, FERNÁNDEZ Barrés Silvia, et al. Walnuts, long-chain polyunsaturated fatty acids, and adolescent brain development: Protocol for the walnuts smart snack dietary intervention trial[J]. Frontiers in Pediatrics, 2021, 9: 593847.
- [13] SUN Bing-mei, YAN Hua, LI Chao, et al. Beneficial effects of walnut (*Juglans regia* L.) oil-derived polyunsaturated fatty acid prevents a prooxidant status and hyperlipidemia in pregnant rats with diabetes[J]. Nutrition & Metabolism, 2020, 17(1): 45-52.
- [14] AKITO Kato-kataok, MASASHI Sakai, RIKI Ebina, et al. Soybean-derived phosphatidylserine improves memory function of the elderly Japanese subjects with memory complaints[J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 2010, 47(3): 246-255.
- [15] 王兆明, 贺雅非, 余力, 等. 动物源卵磷脂功效作用及其分析方法[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19): 362-367.
WANG Zhao-ming, HE Zhi-fei, YU Li, et al. Function effects and analysis methods of Lecithin of animal[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(19): 362-367.
- [16] 关明, 王岩, 陈坚. 高效液相色谱法测定卵磷脂中磷脂酰胆碱的含量[J]. 化学与生物工程, 2005(10): 54-56.
GUAN Ming, WANG Yan, CHEN Jian. The content of phospholipid choline in lecithin was determined by HPLC[J]. Chemistry and Bioengineering, 2005(10): 54-56.
- [17] 张莹莹, 毛向红, 张建英. 河北省核桃坚果蛋白质、脂肪及脂肪酸组成分析[J]. 食品工业科技, 2020, 42(13): 292-298.
ZHANG Ying-ying, MAO Xiang-hong, ZHANG Jian-ying. Analysis of protein, fat and fatty acid composition of walnut resources in Hebei Province[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 42(13): 292-298.