

鹰嘴桃仁油的品质及挥发性成分研究

马路凯^{1,2}, 崔芸¹, 毛国兴¹, 陈海光^{1,2}, 刘祎帆^{1,2}, 丘苑新^{1,2}, 柳建良², 彭镰心³

(1. 仲恺农业工程学院 轻工食品学院, 广州 510225; 2. 仲恺农业工程学院 现代农业创新研究院, 广州 510225;
3. 成都大学 农业农村部杂粮加工重点实验室, 成都 610106)

摘要:采用正己烷浸出法提取鹰嘴桃仁中油脂, 对其主要理化性质(酸值、过氧化值、茴香胺值)和脂溶性伴随物(生育酚、甾醇及角鲨烯)含量进行分析, 采用气相色谱质谱联用仪对其脂肪酸组成及挥发性成分进行研究。结果表明:以正己烷为提取剂, 鹰嘴桃仁油得率为 33.82%, 酸值(KOH)为 0.46 mg/g, 过氧化值为 1.66 mmol/kg, 茴香胺值为 0.86, 符合我国植物油原油的卫生标准; 鹰嘴桃仁油主要脂溶性伴随物为生育酚(174.28 $\mu\text{g/g}$)、角鲨烯(6.03 $\mu\text{g/g}$)和 β -谷甾醇(2.68 $\mu\text{g/g}$); 鹰嘴桃仁油富含不饱和脂肪酸(93.56%), 主要是油酸(76.56%)和亚油酸(16.89%); 此外, 鹰嘴桃仁油中共鉴定出 33 种挥发性成分, 其中醛类是鹰嘴桃仁油风味物质的主要来源, 占总挥发性成分的 71.93%, 其中苯甲醛、糠醛、壬醛和异丁醛是主要风味物质。研究结果可为有效实现鹰嘴桃加工副产物的综合利用及鹰嘴桃仁油的进一步研究及高效利用奠定一定的理论基础。

关键词: 鹰嘴桃仁油; 理化性质; 脂肪酸组成; 脂溶性伴随物; 挥发性成分

中图分类号: TS225.1; TS221 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)10-0104-06

Quality and volatile components of olecranon peach kernel oil

MA Lukai^{1,2}, CUI Yun¹, MAO Guoxing¹, CHEN Haiguang^{1,2},
LIU Huifan^{1,2}, QIU Yuanxin^{1,2}, LIU Jianliang², PENG Lianxin³

(1. School of Light Industry and Food, Zhongkai College of Agricultural Engineering, Guangzhou 510225, China;
2. Institute of Modern Agricultural Innovation, Zhongkai College of Agricultural Engineering, Guangzhou
510225, China; 3. Key Laboratory of Coarse Cereal Processing of Ministry of Agriculture and
Rural Affairs, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: Olecranon peach kernel oil was extracted by *n*-hexane. The main physicochemical properties (acid value, peroxide value, anisidine value) and lipid soluble concomitant (tocopherol, sterol, squalene) were analyzed. The fatty acid composition and volatile components of the oil were studied by gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that using *n*-hexane as the agent, the yield of olecranon peach kernel oil was 33.82%, the acid value was 0.46 mgKOH/g, the peroxide value was 1.66 mmol/kg and the anisidine value was 0.86, which were in line with the hygienic standard of crude vegetable oil in China. The main fat-soluble nutrients were tocopherol (174.28 $\mu\text{g/g}$), squalene (6.03 $\mu\text{g/g}$) and β -sitosterol (2.68 $\mu\text{g/g}$). The olecranon peach kernel oil was rich in unsaturated fatty

acids (93.56%), mainly oleic acid (76.56%) and linoleic acid (16.89%). In addition, a total of 33 volatile components were identified in olecranon peach kernel oil, in which aldehydes were the main source of flavor substances, accounting for 71.93% of the total volatile components, and benzaldehyde, furfural, nonanal and isobutyraldehyde were the main flavor substances. The study could lay a theoretical

收稿日期: 2021-01-01; 修回日期: 2021-06-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1602101); 国家自然科学基金项目(32001622, 31771895); 广东省重点研发项目(2019B020212001); 广东省区域联合基金青年基金项目(2019A1515110823); 广州市科技特派员项目(GZKTP 201937); 广东省普通高校青年创新人才项目(KA2001957); 仲恺农业工程学院 2020 年大学生创新基金(2020A07)

作者简介: 马路凯(1991), 男, 副教授, 博士, 研究方向为油脂安全与营养(E-mail) m1991lk@163.com。

通信作者: 刘祎帆, 副教授, 博士(E-mail) lk_zkng@163.com。

foundation for comprehensive utilization of the by-products of olecranon peach and further research and efficient utilization of olecranon peach kernel oil.

Key words: olecranon peach kernel oil; physicochemical property; fatty acid composition; lipid soluble concomitant; volatile component

鹰嘴桃以果型类似鹰嘴而闻名,凭借其甜、脆、爽口等特点享誉全国,有“岭南十大佳果”的美称^[1]。鹰嘴桃原产于我国陕西省一带,因广东省连平县独特的地理位置和气候使连平县鹰嘴桃成为全国最佳,连平县也被称为“中国鹰嘴桃之乡”,现全县种植面积达6 666.67 hm²(10万亩)^[2]。随着种植面积的增大^[3],鹰嘴桃的加工副产物也越来越多,如桃核、桃皮、桃渣等,不仅污染环境,也造成了资源的浪费。为了加大副产物的开发力度、整合资源及提高桃农的收益,科研人员对鹰嘴桃副产物利用研究越来越重视。

鹰嘴桃主要副产物桃核中桃仁具有活血化瘀、清热解毒、散寒、健脾养胃和止咳平喘等功效^[4],还含有有益的活性物质,如聚合原花青素、羟基肉桂酸、类胡萝卜素和氰化苷等,有很高的药用价值和营养价值^[5-6]。王东爽^[7]研究表明,新疆扁桃仁粗蛋白质(27%以上)及粗脂肪(50%以上)含量较高,且氨基酸种类齐全,桃仁油油酸含量高。Hao等^[8]研究表明,果桃仁油可能是一种潜在的预防动脉粥样硬化的保健食品。以上研究均为鹰嘴桃仁油的研究提供了可行性依据。

目前,对鹰嘴桃仁油的研究鲜有报道。因此,本文对连平县鹰嘴桃加工副产物桃仁进行油脂提取并对其理化性质、脂肪酸组成、营养成分和挥发性成分进行研究,以期实现鹰嘴桃仁的综合利用,有效实现鹰嘴桃加工副产物的提质增效。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

新鲜鹰嘴桃核,取自广东省河源市连平县;正己烷、无水乙醇、冰乙酸、碘化钾、氢氧化钾等均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司; α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚标准品, Sigma公司。

1.1.2 仪器与设备

FA3204B电子天平,上海精科天美科学仪器有限公司;UV-1780紫外分光光度计,岛津公司;YB-700A高速多功能粉碎机,永康市铂欧五金制品有限公司;08-2T恒温磁力搅拌器,上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司;RV 10 KA旋转蒸发仪,艾卡(广州)仪器设备有限公司;7890A-5975C气相色谱质谱联用仪、DB-1毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μ m)、HP-5MS气相色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25

μ m),美国Agilent公司。

1.2 试验方法

1.2.1 鹰嘴桃仁油的提取

鹰嘴桃核经敲壳后,取出鹰嘴桃仁并粉碎,过0.60 mm(30目)筛后于提取瓶中,按料液比1:5加入正己烷,在45℃下浸提2 h,冷却后过滤,将滤液装入圆底烧瓶中,在60℃真空旋转蒸发除去溶剂,即得鹰嘴桃仁油。鹰嘴桃仁油得率采用式(1)计算。

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中:W为鹰嘴桃仁油得率; m_1 为圆底烧瓶加鹰嘴桃仁油的质量,g; m_2 为圆底烧瓶的质量,g; m 为鹰嘴桃仁粉的质量,g。

1.2.2 鹰嘴桃仁油基本理化指标的测定

鹰嘴桃仁油酸值、过氧化值、茴香胺值的测定分别参考GB 5009.229—2016的冷溶剂指示剂滴定法、GB 5009.227—2016的滴定法、GB/T 24304—2009进行。

1.2.3 鹰嘴桃仁油脂肪酸组成测定

鹰嘴桃仁油脂肪酸组成的测定参考文献[9]方法。

样品甲酯化:称取一定量油样,加入2%氢氧化钾甲醇溶液,于(80±1)℃油浴锅冷凝回流至油滴溶解。从回流冷凝器顶部加入7 mL 15%三氟化硼甲醇溶液,继续回流2 min。用少量水冲洗回流冷凝器。迅速冷却至室温。用正己烷和蒸馏水萃取,取正己烷层加无水硫酸钠干燥后过滤,滤液过0.22 μ m微孔滤膜,用气相色谱质谱联用仪(GC-MS)测定。

气相色谱条件:DB-1毛细管柱(30 m×0.32 mm×0.25 μ m);升温程序为柱温100℃保持5 min,以10℃/min的速度升至200℃,保持5 min,以5℃/min的速度升至220℃,保持10 min;进样口温度220℃;He流速1.0 mL/min;进样量0.5 mL。质谱条件:EI离子源,电子能量70 eV,离子源温度250℃。

1.2.4 鹰嘴桃仁油中生育酚、角鲨烯、 β -谷甾醇含量测定

鹰嘴桃仁油中生育酚含量测定参照GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素A、D、E的测定》第一法。角鲨烯含量测定参照LS/T 6120—2017《粮油检验 植物油中角鲨烯的测定 气相色谱法》。 β -谷甾醇含量测定参照GB/T 25223—2010《动植物油脂

甾醇组成和甾醇总量的测定 气相色谱法》。

1.2.5 鹰嘴桃仁油挥发性成分分析

鹰嘴桃仁油挥发性成分分析参考吴忠红等^[10]的方法,略有改动。

萃取头的活化:气相色谱质谱联用仪的进样口温度设置为 250 ℃,将萃取头插入进样口进行活化,活化时间为 20 min。

顶空固相微萃取条件:将样品置于 20 mL 萃取瓶中,加入 100 μg 丁位辛内酯作为内标物(2 mg/mL,取 50 μL 加入),放入磁力搅拌子,密封,置于 90 ℃ 水浴中,磁力搅拌速度 500 r/min,平衡 20 min 后,插入萃取针萃取 30 min。

气相色谱条件:HP-5MS 气相色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);升温程序为初始温度 50 ℃,保持 1 min,以 5 ℃/min 的速度升至 100 ℃,保持 2 min,以 4 ℃/min 的速度升至 180 ℃,保持 3 min,以 5 ℃/min 的速度升至 250 ℃,保持 5 min;进样口温度 250 ℃;气质接口温度 250 ℃;载气流速 1.5 mL/min;不分流进样。质谱条件:离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃,EI 离子源,电子能量 70 eV,全扫描模式,质量扫描范围 35 ~ 550 Da。

1.2.6 数据处理

所有试验重复 3 次,取平均值,利用软件 SPSS 24.0 *F* 检验法进行方差分析,采用 Duncan 检验法分析差异显著性, $P < 0.05$ 为差异显著,利用软件 Origin 2017 作雷达图及主成分分析图。

2 结果与讨论

2.1 鹰嘴桃仁油得率及理化性质(见表 1)

表 1 鹰嘴桃仁油得率及理化性质

项目	指标
得率/%	33.82 ± 0.19
酸值(KOH)/(mg/g)	0.46 ± 0.12
过氧化值/(mmol/kg)	1.66 ± 0.19
茴香胺值	0.86 ± 0.07

鹰嘴桃仁油呈黄色。由表 1 可知,鹰嘴桃仁油得率高达 33.82%,而加工副产物番木瓜籽油的得率为 25.3% ~ 30.7%^[11],米糠油的得率仅为 16% ~ 25%^[12],花椒油得率也仅为 16%^[13]。鹰嘴桃仁油酸值、过氧化值和茴香胺值均较低,品质较好,符合 GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中植物原油的限量标准。由此可见,鹰嘴桃仁可以作为潜在的油料资源。

2.2 鹰嘴桃仁油的脂肪酸组成及含量(见表 2)

由表 2 可知,鹰嘴桃仁油共检测出 6 种脂肪酸成分,含量最高的为油酸(76.56%),其次是亚油酸(16.89%),依次还有棕榈酸(4.87%)、硬脂酸

(1.47%)、亚麻酸(0.11%)、花生酸(0.10%)。鹰嘴桃仁油的油亚比(油酸与亚油酸含量比值)为 4.53。大多数植物油的主要脂肪酸是油酸和亚油酸,油脂中的油酸含量和油亚比是决定植物油品质指标的因素之一,即油酸含量和油亚比越高,植物油的耐贮性越好、货架期越长^[14]。因此,鹰嘴桃仁油的贮藏性能良好。

表 2 鹰嘴桃仁油脂肪酸组成及含量

脂肪酸	含量/%
棕榈酸(C16:0)	4.87 ± 0.19
硬脂酸(C18:0)	1.47 ± 0.08
花生酸(C20:0)	0.10 ± 0.00
油酸(C18:1)	76.56 ± 0.22
亚油酸(C18:2)	16.89 ± 0.15
亚麻酸(C18:3)	0.11 ± 0.08

由表 2 可知,鹰嘴桃仁油单不饱和脂肪酸含量高达 76.56%,其次为多不饱和脂肪酸(17.00%),饱和脂肪酸含量最少(6.44%)。研究发现,富含单不饱和脂肪酸的杏仁、夏威夷果等坚果具有调节血脂的作用^[15]。也有研究发现,单不饱和脂肪酸具有抑制高胰岛素血症、降低血糖的作用^[16]。单不饱和脂肪酸油酸的氧化稳定性远高于亚油酸(10 倍左右),且易被吸收,油酸还可以适度降低有害胆固醇(低密度脂蛋白胆固醇)并维持有益胆固醇(高密度脂蛋白胆固醇),进而预防及减少心血管疾病的发生^[17]。胆固醇必须与亚油酸结合后才能在体内进行正常的运转和代谢,因此一定量的亚油酸对心血管疾病治疗也有帮助^[18],是良好辅助剂。2018 年美国食品药品监督管理局(FDA)发布的食品健康指南中指出,每天摄入 20 g 油酸含量高达 70% 以上的食用油可有效降低心血管疾病发生的风险^[19]。研究结果表明鹰嘴桃仁油可作为营养价值高的油脂资源。

2.3 鹰嘴桃仁油的营养成分含量(见表 3)

表 3 鹰嘴桃仁油的营养成分含量

项目	含量/(μg/g)
α-生育酚	120.00 ± 0.12
β-生育酚	0.98 ± 0.09
γ-生育酚	52.18 ± 0.13
δ-生育酚	1.12 ± 0.07
总生育酚	174.28 ± 0.16
角鲨烯	6.03 ± 0.25
β-谷甾醇	2.68 ± 0.09

由表 3 可知,鹰嘴桃仁油中富含生育酚(174.28 μg/g),以 α-生育酚和 γ-生育酚为主,α-生育酚含量高达 120.00 μg/g,γ-生育酚含量为 52.18 μg/g,还含有少量的 β-生育酚和 δ-生育酚。研究发现,生育酚是良好的自由基清除剂,可以改善油脂

的氧化稳定性,也可以延迟植物油的氧化^[20-21]。 α -生育酚是人体必需的脂溶性维生素,具有降脂、预防心脑血管疾病和提高人体免疫力等作用^[22]。 γ -生育酚是一种有益的营养物质,可改善高血糖引起的肝损伤^[23]。因此,鹰嘴桃仁油的氧化稳定性高且营养价值高。

鹰嘴桃仁油中角鲨烯含量为6.03 $\mu\text{g/g}$ 。研究发现,角鲨烯较强的携氧能力可以使机体恢复活力,促进新陈代谢,提高机体免疫机能,角鲨烯还具有抗衰老、抗肿瘤的作用^[24]。因此,鹰嘴桃仁油可作为

医药、化妆品行业潜在的油脂原料。

鹰嘴桃仁油中 β -谷甾醇含量为2.68 $\mu\text{g/g}$ 。植物甾醇是广泛存在于植物及植物种子中的一种活性成分,主要以 β -谷甾醇为主^[25]。植物甾醇具有改善低密度脂蛋白胆固醇偏高引起的动脉粥样硬化等心脑血管疾病的作用^[26-27]。植物甾醇还具有抗氧化、降血脂、抗癌、抗炎和免疫调节等多种对人体有益的功能^[28]。因此,鹰嘴桃仁油可作为一种含有 β -谷甾醇的功能性食品开发。

2.4 鹰嘴桃仁油的挥发性成分(见表4)

表4 鹰嘴桃仁油的挥发性成分

序号	种类	化合物	气味特征	相对含量/%	各类总含量/%
1	醇类	2,3-丁二醇	奶油、新鲜	2.05	13.14
2		苯乙醇	芳香、奶油	1.03	
3		2-(2-甲氧基乙氧基)乙醇	脂肪味	2.07	
4		苯甲醇	杏仁、蔗糖	7.99	
5	醛类	异丁醛	脂肪、蘑菇气味	10.73	71.93
6		糠醛	杏仁、焦糖、面包	17.06	
7		苯甲醛	杏仁、焦糖、脂肪	25.10	
8		壬醛	脂肪、柑橘、清新	14.01	
9		香兰素(3-甲氧基-4-羟基苯甲醛)	杏仁、焦糖	5.03	
10	酯类	6-乙基-3-庚酯	焦糖、甜味	0.10	3.95
11		壬酸乙酯	甜味	0.10	
12		3-羟基丁酸乙酯	坚果、甜味	1.42	
13		己酸乙酯	椰子	0.12	
14		苯甲酸甲酯	芳香、酒香	0.11	
15		乙酸苯甲酯	果香	0.01	
16		苯甲酸乙酯	坚果、脂肪	1.08	
17		草酸二(6-乙基-3-酰基)酯	奶油味	0.01	
18	三醋精(三乙酸甘油酯)	果香、脂肪	1.00		
19	酸类	苯甲酸	酸味、腐臭	3.00	3.00
20	烯烃类	1,3,5,7-环辛四烯	木头、香料	2.05	2.05
21	苯环类	1,3-二甲基苯	汽油、溶剂、柑橘	1.94	1.94
22	胺类	N,N-二甲基甲酰胺	坚果、清香	0.11	0.12
23		2-甲氧基乙胺	香料、清香	0.01	
24	戊环类	1,3-二氧戊环	花香味	0.51	0.51
25	烷烃类	环丙烷	木香味、脂肪	0.41	2.22
26		2,6,10-三甲基十三烷	花香、奶油	0.61	
27		二十七烷	脂肪	0.40	
28		二十四烷	奶油、脂肪	0.80	
29	酚类	对甲酚	甜味、脂肪	0.11	1.01
30		愈苍木酚	烟味、甜味、药味	0.31	
31		2-甲氧基-4-甲基苯酚	咖喱、	0.15	
32		丁香酚	丁香、甜味	0.32	
33		2-甲氧基-4-乙基苯酚	丁香、咖喱	0.12	

注:内标物丁位辛内酯相对含量为0.13%。

由表4可知,鹰嘴桃仁油共鉴定出33种挥发性成分。其中:醛类是鹰嘴桃仁油的主要挥发性成分,也是鹰嘴桃仁油风味物质的主要来源,主要的醛类物质是异丁醛、糠醛、苯甲醛、壬醛、香兰素5种,占总挥发物的71.93%;其次是醇类,有4种,占总挥发物的13.14%,主要为苯甲醇;再次是酯类,有9种,占总挥发物的3.95%;其他挥发性成分主要包括酸类、烯烃类、苯环类、胺类、戊环类、烷烃类、酚类,含量均较低。

分别对鹰嘴桃仁油的挥发性成分进行雷达图分析和主成分分析,结果分别见图1和图2。

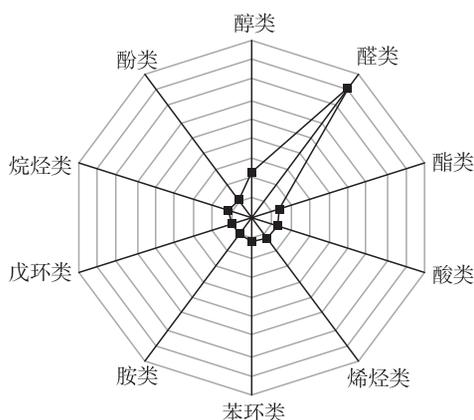


图1 鹰嘴桃仁油挥发性成分雷达图分析

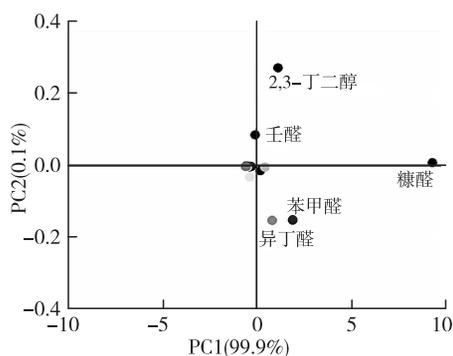


图2 鹰嘴桃仁油挥发性成分主成分分析

从图1可以看出,10类挥发性成分中醛类是主要的风味来源,其次是醇类。从图2可以看出,不同挥发性成分的分发生在主成分1(PC1)上,第1主成分的贡献率达99.9%,第2主成分贡献率为0.1%,总贡献率为100%。2个主成分能较好地反映原始高维矩阵数据的信息,主成分1的贡献率远大于主成分2,表明PC1轴向的挥发性成分能代表风味来源,苯甲醛、糠醛、壬醛、异丁醛是鹰嘴桃仁油的主要风味物质,主要呈现清新、杏仁、焦糖、脂肪、柑橘的风味。

3 结论

以鹰嘴桃加工副产物桃仁为研究对象,采取正己烷浸出法提取鹰嘴桃仁油,对其理化性质进行分

析。结果表明,鹰嘴桃仁油得率为33.82%,酸值(KOH)为0.46 mg/g,过氧化值为1.66 mmol/kg,茴香胺值为0.86,符合国家食用植物油原卫生标准。同时还对鹰嘴桃仁油的脂肪酸组成及脂溶性营养物质进行检测,发现鹰嘴桃仁油脂肪酸主要以油酸(76.56%)为主,其次是亚油酸(16.89%);主要脂溶性营养物质为生育酚(174.28 $\mu\text{g/g}$)、角鲨烯(6.03 $\mu\text{g/g}$)和 β -谷甾醇(2.68 $\mu\text{g/g}$)。通过顶空固相微萃取法共鉴定出鹰嘴桃仁油中33种10类挥发性成分,其中醛类是主要的风味来源,占总挥发性成分的71.93%。主成分分析结果表明,苯甲醛、糠醛、壬醛、异丁醛是鹰嘴桃仁油的主要风味物质。本研究为鹰嘴桃仁油在食品、医药和化妆品领域中的进一步开发利用提供了依据,为鹰嘴桃及其他水果的副产物的综合利用提供了新思路。

参考文献:

- [1] 李萌. 生物保鲜剂对鹰嘴蜜桃的保鲜效果研究及贮藏期模型的建立[D]. 广州:华南理工大学, 2019.
- [2] 廖永林, 李传瑛, 黄少华, 等. 鹰嘴蜜桃病虫害调查与防控策略[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(4): 1005 - 1009.
- [3] 蒋均, 骆房增, 柳建良, 等. 不同温度与包装对鹰嘴蜜桃贮藏效果的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 178 - 185, 132.
- [4] 郭玲玲, 颜永刚, 王红艳, 等. 桃仁-大黄药对在中药方剂中发挥功效的相关因素分析[J]. 中国药房, 2017, 28(23): 3188 - 3191.
- [5] NOWICKA P, WOJDYLO A. Content of bioactive compounds in the peach kernels and their antioxidant, anti-hyperglycemic, anti-aging properties[J]. Eur Food Res Technol, 2018, 245(5): 1123 - 1136.
- [6] WAGHEDA C, DE KOCK M. The anti-proliferative effect of apricot and peach kernel extracts on human colon cancer cells in vitro[J/OL]. Complement Altern Med, 2019, 19(1): 32 [2020 - 12 - 15]. <https://bmc-complement-mediterapies.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12906-019-2437-4>.
- [7] 王东爽. 新疆扁桃仁品质分析及其蛋白性质和应用研究[D]. 新疆阿拉尔:塔里木大学, 2016.
- [8] HAO E, PANG G, DU Z, et al. Peach kernel oil downregulates expression of tissue factor and reduces atherosclerosis in ApoE knockout mice[J/OL]. Int J Mol Sci, 2019, 20(2): 405 [2020 - 12 - 15]. <https://doi.org/10.3390/ijms20020405>.
- [9] MA L K, LIU G Q, CHENG W W, et al. The effect of heating on the formation of 4-hydroxy-2-hexenal and 4-hydroxy-2-nonenal in unsaturated vegetable oils:

- evaluation of oxidation indicators [J/OL]. *Food Chem*, 2020, 321:126603[2020-12-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126603>.
- [10] 吴忠红, 谭慧林, 赵雅霞, 等. GC-MS结合电子鼻分析甜瓜籽油挥发性风味成分[J]. *中国油脂*, 2020, 45(12): 28-33.
- [11] TAN C X, TAN S T, TAN S S. An overview of papaya seed oil extraction methods[J]. *Int J Food Sci Technol*, 2020, 55(4): 1506-1514.
- [12] 覃发玠, 赖开平. 米糠的功能组分及其在化妆品中的应用[J]. *中国油脂*, 2020, 45(1): 111-114.
- [13] 孙婧, 吴建华, 甘笛. 响应面法优化超临界 CO₂ 萃取花椒油的工艺[J]. *中国油脂*, 2019, 44(5): 5-7.
- [14] 李军华, 谷建中, 金建猛, 等. 不同种植模式和贮藏时间对花生油亚比的影响[J]. *河南农业科学*, 2011, 40(2): 74-75, 89.
- [15] 王伟, 张伟敏. 单不饱和脂肪酸的功能特性[J]. *中国食物与营养*, 2005(4): 44-46.
- [16] RALSTON J C, NGUYEN TU M S, LYONS C L, et al. Dietary substitution of SFA with MUFA within high-fat diets attenuates hyperinsulinaemia and pancreatic islet dysfunction[J]. *Brit J Nutr*, 2020, 124(3): 247-255.
- [17] 李新平, 徐志军, 蔡岩, 等. 花生主要品质性状的 QTL 定位分析[J]. *中国油料作物学报*, 2016, 38(4): 415-422.
- [18] 陈向阳, 毕淑峰, 李艳, 等. 野生柳叶蜡梅籽油理化性质、脂肪酸组成及抗氧化活性研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(6): 115-119.
- [19] 刘芳, 张哲, 王积军. 我国高油酸花生种植及应用技术研究进展[J]. *中国油料作物学报*, 2020, 42(6): 956-959.
- [20] 郭鑫, 卢宇宁, 张涛, 等. 生育酚对亚麻籽油纳米乳液稳定性的影响[J]. *中国油脂*, 2020, 45(11): 141-144.
- [21] MATHIAS Z, MARC P, JULIA K, et al. Contribution of the ratio of tocopherol homologs to the oxidative stability of commercial vegetable oils [J/OL]. *Molecules*, 2018, 23(1): 206[2020-12-15]. <https://doi.org/10.3390/molecules23010206>.
- [22] 郭晓峰, 毕艳兰, 陈佳丽. 加热条件下 α -生育酚在油脂中的抗氧化活性、损耗及其对油脂全氧化值的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(20): 27-33.
- [23] HEAJI L, YUNSOOK L. *Gamma*-tocopherol ameliorates hyperglycemia-induced hepatic inflammation associated with NLRP3 inflammasome in alloxan-induced diabetic mice[J]. *Nutr Res Pract*, 2019, 13(5): 377-383.
- [24] 朱云. 植物油中角鲨烯含量及其在油脂加工与使用过程中的变化[J]. *中国油脂*, 2019, 44(12): 136-138.
- [25] KRITCHEVSKY D, CHEN S C. Phytosterols—health benefits and potential concerns: a review[J]. *Nutr Res*, 2005, 25(5): 413-428.
- [26] JONES P J H, MARYAM S, MACKAY D S, et al. Progress and perspectives in plant sterol and plant stanol research[J]. *Nutr Rev*, 2018(10): 1-22.
- [27] CICERO A F G, ALESSANDRO C, GANI B, et al. Lipid lowering nutraceuticals in clinical practice: position paper from an International Lipid Expert Panel[J]. *Arch Med Sci Ams*, 2017, 13: 965-1005.
- [28] 周路, 徐宝成, 尤思聪, 等. 植物甾醇生理功能及安全性评估研究新进展[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(6): 196-202.
-
- (上接第 87 页)
- [15] 刘晓伟, 潘路路, 王彦花. 基于聚类分析法对茶油品质的判定[J]. *食品工业*, 2018, 39(3): 309-312.
- [16] 王彦花, 王容, 张云, 等. 基于主成分分析的油茶果经济性状及茶油脂肪酸组成[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(1): 251-255.
- [17] PENG D, BI Y L, REN X N, et al. Detection and quantification of adulteration of sesame oils with vegetable oils using gas chromatography and multivariate data analysis[J]. *Food Chem*, 2015, 188(1): 415-421.
- [18] 喻凤香, 林亲录, 黄中培. 基于指纹图谱相似度的米糠油掺伪检测方法研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(10): 118-122.
- [19] 王超, 矫筱蔓, 庞燕军. GC法同时测定火麻仁油中5种脂肪酸类成分的含量[J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(10): 74-76.
- [20] 廖丽萍, 肖爱平, 冷鹃, 等. 不同产地亚麻籽冷榨油脂脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. *中国麻业科学*, 2018, 40(5): 234-238.
- [21] 冯纳. 茶油脂肪酸和甘油三酯的分析及掺伪识别初步研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.
- [22] 王超群, 张晖, 钱海峰, 等. 气相色谱结合主成分分析和聚类分析用于裸燕麦脂肪酸标准指纹图谱的建立[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(10): 82-87, 93.
- [23] 阿吉姑·阿布都热西提, 马依努尔·拜克力, 张君萍, 等. 新疆巴旦杏仁油脂脂肪酸 GC-MS 指纹图谱研究[J]. *中药材*, 2016, 39(3): 562-566.
- [24] 王芳, 王艳华, 侯俊财. 芝麻油中掺加大豆油鉴别方法的研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(2): 147-151, 158.