

制油工艺对澳洲坚果油营养品质及挥发性 风味成分的影响

Effect of extraction process on quality and volatile flavor
components of oil from macadamia nuts

帅希祥 杜丽清 张 明 涂行浩

SHUAI Xi-xiang DU Li-qing ZHANG Ming TU Xing-hao

(中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东 湛江 524091)

(South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences,
Zhanjiang, Guangdong 524091, China)

摘要:研究压榨法和水剂法 2 种制油工艺对澳洲坚果油品质及挥发性风味成分的影响,分别比较 2 种制油工艺对澳洲坚果油甘油三酯组成、甾醇组成、脂肪酸组成、挥发性风味成分、生育酚及矿物质元素含量的影响。结果表明:制油工艺对澳洲坚果油的脂肪酸组成、甘油三酯组成和生育酚含量没有显著影响,澳洲坚果油中脂肪酸主要为油酸、棕榈-烯酸、棕榈酸,占 86% 以上;甘油三酯共检出 18 种,其中 OOO、POS、POO 占 53% 以上;水剂法制得的澳洲坚果油中甾醇含量较高,为 1 439.79 mg/kg;压榨法制得的澳洲坚果油中矿物质元素含量较高,挥发性风味物质成分较多,共分离出 41 种,主要包括烯类、醛类、酚类、醇类、酯类、烃类和酮类共 7 类化合物,其中相对含量较高的是烯类化合物和醇类化合物,占总挥发性成分的 82.1%,是构成压榨澳洲坚果油的主要风味物质。

关键词:澳洲坚果油;压榨法;水剂法;营养品质;挥发性风味成分

Abstract: The effects of two extraction methods (pressing extraction, aqueous extraction) on the quality and volatile flavor compounds from macadamia nuts oil were investigated. The investigation focused on the composition of triglyceride, sterol, fatty acid and volatile flavor components, as well as the contents of tocopherols

and mineral elements in macadamia nuts oil. For the fatty acid composition, triglyceride composition, and contents of tocopherols, the results showed that there were not significantly variations in pressing extracted oil and aqueous extracted oil. Fatty acid composition analysis results illustrated that the main fatty acid consisted of oleic acid, palm acid and palmitic acid, containing more than 86.0%. The triglyceride contained 18 kinds of triglycerides, the content of OOO, POS and POO were more than 53.0%. Additionally, pressing extraction oil had a higher content of sterol (1,439.79 mg/kg) than aqueous extraction oil (1,351.08 mg/kg). However, the aqueous extraction oil had a higher content of mineral elements and volatile flavor than the pressing extraction. Moreover, the volatile flavor components was identified to be 41 components consisting of 7 categories of compounds, including olefins, aldehydes, phenols, alcohols, esters, hydrocarbons and ketones. Among them, the content of olefins and alcohols was the highest, reaching 82.1%. Therefore, they contributed to the main flavor substance in macadamia nuts oil by pressing extraction. The results provided a scientific basis for industrial production of macadamia oil, and the present research supported necessary data for the green extraction method of edible oil in food industry.

Keywords: macadamia nut oil; pressing extraction; aqueous extraction; quality; volatile flavor components

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(编号:1630062016007);中国热带农业科学院基本科研业务费专项(编号:1630062017018);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:1630062016012)

作者简介:帅希祥,男,中国热带农业科学院南亚热带作物研究所研究实习员,硕士。

通信作者:杜丽清(1976—),男,中国热带农业科学院南亚热带作物研究所研究员,硕士。E-mail:shuaixixiang1989@163.com

收稿日期:2017-07-28

澳洲坚果(*Macadamia ternifolia* F. Muell.)别名澳洲核桃、夏威夷果等,属山龙眼科澳洲坚果属,为多年生常绿乔木^[1]。澳洲坚果果仁脂肪含量高达 78% 以上^[2],澳洲坚果油的脂肪酸主要是由油酸、棕榈-烯酸和棕榈酸组成,还含有一些硬脂酸、花生酸等饱和脂肪酸和少量的亚油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸。有相关报道,澳洲坚果油含不饱和脂肪酸超过 80%,油酸含量高达 58%~65%。油酸具有预防和治疗

高血压、冠心病、动脉粥样硬化等心血管疾病以及抗氧化等功效^[3],同时油酸的充分摄取可促进人体钙、磷、锌等矿物质的吸收^[4],因此澳洲坚果油是一种营养价值高的健康食用油。

当前中国澳洲坚果油的制取方法有压榨法^[4]、溶剂萃取法^[5]、水剂法^[6]、超临界 CO₂ 萃取法^{[7]22-27} 等。然而,大多研究^{[4-6][12]15} 主要集中在提高澳洲坚果油的提取率和基本理化性质分析方面,对澳洲坚果油的营养品质及风味物质分析方面的关注度不够,在制油工艺对澳洲坚果油营养品质和风味物质分析方面的研究就更少,而且前人^{[4-6][7]16-18} 的研究主要对澳洲坚果油中单一的营养成分(脂肪酸、生育酚等)进行了分析,未能全面评价澳洲坚果油的营养品质,本研究更系统和全面地对澳洲坚果油的营养品质及风味成分进行了分析。

本试验拟以脱壳烘干的澳洲坚果仁为原料,采用压榨法和水剂法制备澳洲坚果油,以澳洲坚果油甘油三酯组成、脂肪酸组成、甾醇组成、挥发性风味成分、单甘脂、甘油二酯、生育酚及矿质元素含量为指标,研究 2 种制油工艺对澳洲坚果油品质及风味物质为指标,旨在为澳洲坚果油的工业化生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

澳洲坚果仁:水分含量<3.0%,中国热带农业科学院南亚热带作物研究所休闲农产品加工中试车间;

生育酚及生育三烯酚混标(α 、 β 、 γ 、 δ)(98%)、胆甾烷醇(>99%)、菜油甾醇、菜籽甾醇、豆甾醇、谷甾醇:标准品,阿拉丁化学试剂有限公司;

甲醇、无水乙醇、正己烷、石油醚、异丙醇、氢氧化钾、碘化钾等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

榨油机:R-8200 型,罗密欧家用电器有限公司;
分析天平:AR224CN 型,奥康斯仪器有限公司;
高速离心机:LXJ-IIB 型,上海安亭科学仪器厂;
冰箱:BCD-539WT 型,青岛海尔股份有限公司;
恒温水浴锅:HH-4 型,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司;

手动可调量程单道移液器:10~1 000 μ L,德国 Eppendorf 公司;

高速冷冻离心机:ST40 型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

气相色谱:7890A 型,安捷伦科技(上海)有限公司;
液相色谱:1260 型,安捷伦科技(上海)有限公司;
气质联用色谱:6890N-5973MSD 型,安捷伦科技(上海)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 澳洲坚果油的制备

(1) 压榨法制备澳洲坚果油:将烘干的澳洲坚果仁投入经过预热至 70 $^{\circ}$ C 的榨油机中进行压榨,收集压榨油,于 4 800 r/min 离心 20 min,分离除去残渣,得澳洲坚果油,

备用^[9]。

(2) 水剂法制备澳洲坚果油:参考文献^[6]。

1.3.2 甾醇组成及含量测定 参照文献^[8],并略做修改。

(1) 色谱条件:色谱柱为 DB-5MS 毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m),检测器为氢火焰离子化检测器(FID);进样口温度 290 $^{\circ}$ C,检测器温度 300 $^{\circ}$ C,进样量 1 μ L,分流比 70:1,载气为氦气,流速 30 cm/s,初始温度 230 $^{\circ}$ C,保持 1 min,以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 280 $^{\circ}$ C,5 $^{\circ}$ C/min 升至 290 $^{\circ}$ C 保持 35 min。

(2) 样品制备:称取 250.00 mg 澳洲坚果油,加入 0.50 mg α -胆甾烷醇,加入氢氧化钾乙醇溶液进行皂化,皂化完成后用正己烷萃取,萃取液氮气吹干,最后加入 200 μ L 硅烷化试剂(吡啶:六甲基二硅氮烷:三甲基氯硅烷体积比 9:3:1)进行硅烷化处理,取硅烷化完全的样液过 0.22 μ m 有机膜,进行气相分析。通过与标准谱图对比和标准曲线方法计算各组分的含量。

1.3.3 生育酚及生育三烯酚含量测定 参照文献^[9],并略做修改。

(1) 色谱条件:色谱柱为 C₁₈(4.6 mm $\times$ 250 mm,5 μ m);流动相为体积比 92.5:7.4:0.1 的正己烷—甲醇—异丙醇混合液;流速 1.0 mL/min;进样量 10 μ L;柱温 30 $^{\circ}$ C;检测波长 294 nm。

(2) 标准品配置:分别取已标定浓度的 α -生育酚、 β -生育酚、 γ -生育酚及其相应的生育三烯酚标准液 10,20,40,80,160 μ L,用色谱级正己烷定容至 10.0 mL,配成梯度浓度进行色谱分析。

(3) 澳洲坚果油样品的制备:称取澳洲坚果油 0.10 g,用 10.0 mL 色谱级正己烷溶解并定容至刻度,过 0.45 μ m 有机滤膜,滤液进行色谱分析,各组分含量通过标准曲线计算。

1.3.4 脂肪酸组成分析 参照文献^[4]。

1.3.5 挥发性风味物质分析 参照文献^[10-11],并略做修改。

(1) 固相微萃取条件及顶空进样分析:称取 5.0 g 澳洲坚果油于 SPME 样品瓶中,用萃取头(50/30 μ m DVD/Carboxen/PDMS)在室温条件下萃取 60 min,萃取结束后将萃取头直接插入 GC-MS 进样口,在 250 $^{\circ}$ C 下解析,同时进行数据采集。

(2) GC 条件:色谱柱为 HP-5 弹性石英毛细管色谱柱(60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m),载气为氦气(99.999%),升温程序:初始 35 $^{\circ}$ C 2 min,3.0 $^{\circ}$ C/min 升温至 170 $^{\circ}$ C,30 $^{\circ}$ C/min 升温至 225 $^{\circ}$ C,保持 3 min,载气流速 1.0 mL/min,进样口温度 250 $^{\circ}$ C,分流比 10:1。

(3) MS 条件:电子轰击离子源,电子能量 65 eV,离子源温度 230 $^{\circ}$ C,四级杆温度 150 $^{\circ}$ C,质量扫描范围 m/z 30~600。

(4) 挥发性风味物质分析:化合物经计算机检索,与 NIST 谱库相匹配,并分析可能属于澳洲坚果油的风味物质,取匹配度不低于 80%的组分;同时采用峰面积归一化法计算各挥发性风味物质的相对百分含量。

1.4 统计分析

所有试验重复进行 3 次,试验数据采用 SPSS 17.0 软件进行分析,结果表示为均值±标准偏差,作图采用 Origin 8.0 软件。

2 结果与分析

2.1 制油工艺对澳洲坚果油甘油三酯组成的影响

甘油三酯是由 3 分子长链脂肪酸与 1 分子甘油缩合形成的脂肪分子,是植物油中最主要的成分(占 95%以上),也是人体内含量最多的脂类,大部分组织均可以利用甘油三酯分解产物供给能量。构成其骨架上的 3 个脂肪酸的种类对植物油的营养价值具有显著的影响^[12],研究^[13]表明,虽然组成油脂的脂肪酸种类相同,但因其脂肪酸酰化的位置不同,使得油脂的吸收代谢有很大差异,进而影响到油脂的营养和应用价值,因此,每种植物油都具有各自独特的甘油三酯特性。

由表 1 可知,澳洲坚果油中主要检测出 18 种甘油三酯,说明澳洲坚果油中含有大量油酸;同时,压榨法和水剂法制得的澳洲坚果油甘油三酯组成基本相同,说明制油工艺对澳洲坚果油甘油三酯组成影响较小。通过分析油脂中甘油三酯的组成,可用于鉴别植物油的种类,此外研究油脂中的甘油三酯组成,对于人类健康也有非常重要的意义^[14]。

2.2 制油工艺对澳洲坚果油主要脂肪酸组成的影响

由表 2 可知,采用压榨法和水剂法得到的澳洲坚果油脂脂肪酸组成基本相同,水剂法制得澳洲坚果油中油酸含量较高

表 1 不同制油工艺澳洲坚果油的甘油三酯组成比较[†]

Table 1 Effect of extraction process on triglyceride composition of macadamia nuts oil %

甘油三酯	压榨法	水剂法
OOO	19.52±0.12	21.36±0.11
POS	16.98±0.09	16.65±0.12
POO	16.86±0.07	16.59±0.05
POP	8.77±0.08	8.28±0.02
SOO	6.33±0.02	6.06±0.01
PLP	5.96±0.02	5.37±0.02
SLO	4.11±0.01	4.34±0.03
SOA	3.21±0.02	3.08±0.01
PLS	2.99±0.02	3.17±0.02
PPS	2.44±0.01	2.33±0.02
AOO	2.19±0.02	2.26±0.03
MOP	1.91±0.04	1.68±0.01
PSS	1.85±0.01	1.49±0.04
OLO	1.37±0.01	1.97±0.01
SOS	1.32±0.01	1.24±0.01
MLP	1.12±0.02	0.92±0.01
PLO	1.03±0.01	1.22±0.02
MOO	0.95±0.01	1.04±0.01

† O: 油酸; L: 亚油酸; P: 棕榈酸; S: 硬脂酸; M: 棕榈-烯酸; A: 花生酸。

(64.31%±0.11%),与甘油三酯分析发现其含有大量油酸是一致的;棕榈-烯酸含量则是压榨法较高(14.89%±0.09%);亚油酸和花生-烯酸含量也是压榨法较高,分别为 2.21%±0.02%,2.48%±0.01%。综合分析,压榨法得到的澳洲坚果油的总不饱和脂肪酸含量 83.12%±0.37% 比水剂法 83.01%±0.22%高,但 2 种方法得到的澳洲坚果油的总不饱和脂肪酸含量不存在显著性差异(P>0.05),说明制油工艺对澳洲坚果油脂脂肪酸组成影响较小。

表 2 不同制油工艺澳洲坚果油的主要脂肪酸组成比较

Table 2 Effect of extraction process on fatty acid composition of macadamia nuts oil %

主要脂肪酸	压榨法	水剂法
油酸	63.08±0.25	64.31±0.11
棕榈-烯酸	14.89±0.09	13.67±0.15
棕榈酸	8.52±0.22	8.55±0.12
硬脂酸	3.77±0.02	3.76±0.01
亚油酸	2.21±0.02	2.09±0.04
花生酸	2.89±0.09	2.99±0.07
花生-烯酸	2.48±0.01	2.45±0.07
亚麻酸	0.24±0.01	0.24±0.02
芥酸	0.22±0.01	0.25±0.01
总不饱和脂肪酸	83.12±0.37	83.01±0.22

2.3 制油工艺对澳洲坚果油生育酚、甾醇及矿质元素的影响

澳洲坚果油中含有大量的生物活性成分和微量元素,包括甾醇、V_E、钙、铁、镁等,分别采用气相、液相和电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)对其进行分析,见表 3。

由表 3 可知,压榨法和水剂法得到的澳洲坚果油中生育酚含量是相同的,且主要为 α-生育三烯酚,其含量为 25.00 mg/kg,其它均未检出。与前人研究结果相吻合,Kaijsera 等^[20]研究发现了澳洲坚果油中几乎不含生育酚;

表 3 不同制油工艺澳洲坚果油的生育酚、甾醇及矿质元素比较[†]

Table 3 Effect of extraction process on tocopherols, sterol composition and mineral elements of macadamia nuts oil mg/kg

微量营养成分	压榨法	水剂法
α-生育三烯酚	25.00±0.02	25.00±0.01
菜油甾醇	71.97±0.12	82.37±0.11
豆甾醇	N.D.	21.33±0.08
谷甾醇	1 279.11±1.35	1 336.09±1.11
总甾醇	1 351.08±1.08	1 439.79±0.86
铁(Fe)	0.46±0.01	0.23±0.02
钠(Na)	2.80±0.08	2.70±0.05
镁(Mg)	3.30±0.11	N.D.
铝(Al)	2.60±0.13	2.10±0.09
钙(Ca)	8.30±0.21	6.50±0.08
磷(P)	9.70±0.15	2.00±0.06

† N.D.表示该化合物未检出。

Wall^[21]对7个不同品种的澳洲坚果油的生物活性成分进行研究,发现大多数品种的澳洲坚果油中几乎不含生育酚,但却含有大量的生育三烯酚,生育三烯酚比生育酚含有更多的双键,更易淬灭自由基,增加澳洲坚果油的氧化稳定性。

对压榨法和水剂法得到的澳洲坚果油中甾醇进行分析,共鉴定出3种甾醇,分别为菜油甾醇、豆甾醇和谷甾醇,且甾醇含量最高的都为谷甾醇,其次是菜油甾醇,豆甾醇含量最低。水剂法提取的澳洲坚果油中3种甾醇(菜油甾醇、豆甾醇和谷甾醇)的含量比压榨法高,分别为82.37, 21.33, 1 336.09 mg/kg,压榨法制得的澳洲坚果油中未检出豆甾醇;总甾醇含量也是水剂法较高,为1 439.79 mg/kg。Kajjsera等^[15]对新西兰的澳洲坚果油中甾醇含量进行分析,共鉴定出4种甾醇类,分别为谷甾醇、5-燕麦甾醇、菜油甾醇和豆甾醇,其总含量为105~179 mg/100 g,与本研究结果相吻合,甾醇种类的差异可能与澳洲坚果的品种和产地存在较大关系。

采用ICP-MS对澳洲坚果油矿质元素进行分析,共检出6种矿质元素,分别为铁、钠、镁、铝、钙、磷,其含量分别为压榨法:0.46, 2.80, 3.30, 2.60, 8.30, 9.70 mg/kg,水剂法:0.23, 2.70, 0.00, 2.10, 6.50, 2.00 mg/kg,赵静等^[2]研究澳洲坚果果仁中矿质营养元素,发现其富含锌、铜、锰、钙、镁、铁等,且含量

分别为Cu 20.01 mg/kg、Fe 82.86 mg/kg、Mn 100.60 mg/kg、Zn 38.51 mg/kg、Ca 0.104 2%、Mg 0.102 3%;Stephenson等^[16]研究焙烤澳洲坚果果仁发现其含有钙5.34 mg/kg、磷2.41 mg/kg、铁0.20 mg/kg,与本研究结果相似,但含量存在一定差异,可能是油在制备过程中有损失,也可能是澳洲坚果的产地和品种不同存在一定的差异。同时也发现压榨法明显比水剂法制得的澳洲坚果油中矿质元素含量高,可能是采用水作为提取溶剂,在提取过程中矿质元素溶解在提取溶剂中而造成损失。

2.4 制油工艺对澳洲坚果油挥发性风味物质的影响

顶空固相微萃取是利用石英纤维萃取头表面的高分子层对样品挥发出的化合物进行萃取和预富集,在气相色谱进样口进行热解吸,质谱分析其挥发性成分的组成^[17-18],利用此项技术能有效分析澳洲坚果油挥发性风味成分。

由表4可知,压榨法和水剂法制得的澳洲坚果油中鉴定出的挥发性风味物质分别为41种和35种,压榨法制得的澳洲坚果油检测出风味物质成分较多,澳洲坚果油的风味是由多种挥发性物质形成的复合风味。压榨法和水剂法制得的澳洲坚果油中芳樟醇含量最高,分别为37.78%, 46.63%;压榨法制得的澳洲坚果油中桉油精和水芹烯含量也较高,分别为18.12%, 9.71%;且烯类含量压榨法明显高于水剂法,分

表 4 不同制油工艺对澳洲坚果油的挥发性风味成分比较[†]

Table 4 Effect of extraction process on volatile flavor components of macadamia nuts oil %

挥发性风味成分	压榨法	水剂法	挥发性风味成分	压榨法	水剂法
烯类	24.55±0.03	10.55±0.02	正戊醇	0.11±0.01	0.87±0.02
α-蒎烯	2.87±0.02	1.06±0.01	正己醇	0.63±0.03	0.13±0.01
β-蒎烯	1.44±0.03	N.D.	庚醇	0.24±0.01	0.07±0.01
R-α-水芹烯	0.50±0.01	0.06±0.02	桉油精	18.12±0.16	3.32±0.08
α-水芹烯	0.92±0.02	0.03±0.01	辛醇	0.28±0.01	1.12±0.01
β-水芹烯	8.29±0.07	3.29±0.03	芳樟醇	37.78±0.27	46.63±0.21
β-月桂烯	3.23±0.02	1.46±0.01	茨醇	N.D.	0.32±0.01
α-蒎烯	0.69±0.01	N.D.	酯类	0.81±0.02	4.18±0.01
茨烯	0.55±0.04	N.D.	乙酸乙酯	0.63±0.02	4.18±0.01
D-柠檬烯	3.19±0.01	1.44±0.05	丁内酯	0.18±0.01	N.D.
反式-β-罗勒烯	0.46±0.01	0.30±0.01	酚类	1.91±0.03	6.89±0.04
顺式-β-罗勒烯	1.07±0.03	0.30±0.01	甲苯	0.63±0.03	2.61±0.04
γ-蒎烯	0.83±0.04	0.16±0.01	p-二甲苯	0.42±0.01	3.08±0.02
2-萹烯	0.36±0.01	0.26±0.03	o-二甲苯	0.14±0.02	1.03±0.01
苯乙烯	0.15±0.02	2.19±0.02	1-甲基-3-(1-甲基)-苯	0.61±0.01	0.06±0.02
醛类	5.69±0.08	4.69±0.04	2,5-二甲基硫吡嗪	0.11±0.01	N.D.
戊醛	0.15±0.01	N.D.	烷烃类	3.92±0.06	12.22±0.11
庚醛	0.40±0.03	0.19±0.01	2-甲基戊烷	N.D.	2.50±0.04
苯甲醛	0.10±0.01	N.D.	3-甲基戊烷	N.D.	1.31±0.03
辛醛	0.54±0.02	0.42±0.01	正己烷	0.80±0.02	6.26±0.01
3,4-二甲氧基苯乙醛	0.42±0.03	N.D.	2,4-二甲基己烷	1.22±0.04	N.D.
壬醛	0.90±0.01	N.D.	庚烷	0.34±0.01	1.78±0.06
茨酮	3.18±0.07	3.96±0.04	葵烷	0.50±0.02	0.13±0.01
醇类	57.55±0.24	54.46±0.12	十一烷	0.49±0.01	0.11±0.02
乙醇	0.39±0.01	1.78±0.03	十二烷	0.57±0.01	0.13±0.01
丁醇	N.D.	0.22±0.04			

[†] N.D.表示该化合物未检出。

别为 24.55%,10.55%,说明压榨法制得的澳洲坚果油风味浓郁,与笔者^[4,6]前期研究发现压榨的澳洲坚果油带有一种很浓郁的澳洲坚果特有的香气,水剂法制得澳洲坚果油则比较淡是相吻合的。

3 结论

(1) 制油工艺对澳洲坚果油的脂肪酸组成、甘油三酯组成和生育酚含量的影响不显著,澳洲坚果油中脂肪酸主要为油酸、棕榈-烯酸、棕榈酸,占 86%以上;甘油三酯共检出 18 种,其中 OOO、POS、POO 占 53%以上;生育三烯酚含量均为 25.00 mg/kg;水剂法制得的澳洲坚果油中甾醇含量较高,为 1 439.79 mg/kg,压榨法制得的澳洲坚果油中矿质元素含量较高。

(2) 压榨法制得的澳洲坚果油中,挥发性风味物质成分较多,共分离出 41 种,主要包括烯类、醛类、酚类、醇类、酯类、烃类和酮类共 7 类,其中相对含量较高的烯类化合物和醇类化合物,占总挥发性成分的 82.1%,是构成压榨澳洲坚果油的主要风味物质。

(3) 本研究对澳洲坚果油的营养品质和风味成分进行了全面的分析,但对其中的功效成分和生理活性没有深度挖掘,后续将采用现代分离和分析技术对澳洲坚果油中功效成分进行分析,同时采用体外和体内试验对其生理活性进行综合评价。

参考文献

[1] 刁卓超,杨薇,李建欢,等. 澳洲坚果热风干燥特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 44-46.

[2] 赵静,唐君海,王文林,等. 澳洲坚果营养成分分析[J]. 农业研究与应用, 2013(3): 24-25.

[3] 蔡达,刘红芝,刘丽,等. 不同工艺制备核桃油品质比较及相关性分析[J]. 中国油脂, 2014, 39(3): 80-84.

[4] 许良,叶丽君,邱瑞霞,等. 亚临界丁烷萃取澳洲坚果油工艺及品质研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(6): 79-83.

[5] 杜丽清,帅希祥,涂行浩,等. 水剂法提取澳洲坚果油的化学成

分及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 140-144.

[6] 朱冰清. 澳洲坚果油提取及其纳米乳口服液的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.

[7] International Olive Council. Determination of the composition and content of sterols by capillary-column gas chromatography [S]. Madrid: [s.n.], 2013: 1-16.

[8] American Oil Chemists' Society. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS[M]. Illinois: [s.n.], 2009: 8-89.

[9] 柴杰,金青哲,薛雅琳,等. 制油工艺对葵花籽油品质的影响[J]. 中国油脂, 2016, 41(4): 56-61.

[10] 杨金娥,黄庆德,周琦,等. 冷榨和热榨亚麻籽油挥发性成分比较[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(3): 321-325.

[11] 张东生,薛雅琳,金青哲,等. 精炼过程对油茶籽油品质影响的研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(9): 18-22.

[12] 胡珺,魏芳,董绪燕,等. 食用油甘油三酯质谱分析方法的研究进展[J]. 分析测试学报, 2012, 31(6): 749-756.

[13] 朱桃花,范璐,钱向明,等. HPLC 分析植物油脂甘油三酯结构组成的研究现状[J]. 中国油脂, 2011, 36(5): 59-63.

[14] KAIJSERA A, DUTTA P, SAVAGE G. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand [J]. Food Chemistry, 2000, 71(1): 67-70.

[15] WALL M M. Functional lipid characteristics, oxidative stability, and antioxidant activity of macadamia nut (*Macadamia integrifolia*) cultivars[J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1 103-1 108.

[16] STEOHENSON R A, TROCHOULIAS T. Macadamia, In handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops. Volume II: Subtropical and Tropical Crops[M]. B th. Boca Raton: CRC Press, 1994: 147-163.

[17] 张谦益,包李林,熊巍林,等. 浓香菜籽油挥发性风味成分的鉴定[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(3): 78-80.

[18] 杨湄,刘昌盛,周琦,等. 加工工艺对菜籽油主要挥发性风味成分的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(4): 551-557.

(上接第 127 页)

[20] 陈帅印. 幽门螺杆菌基因在乳球菌中食品级表达及免疫反应性[D]. 郑州: 郑州大学, 2010: 45-52.

[21] CAVANAGH D, FITZGERALD G F, MCAULIFFE O. From field to fermentation: the origins of *Lactococcus lactis* and its domestication to the dairy environment[J]. Food Microbiology, 2015, 47: 45-61.

[22] 周方方,吴正钧,艾连中,等. 蛋白组学技术在乳酸菌环境胁迫应激研究中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(8): 101-106.

[23] 贺松,龚芳红,张德纯,等. 乳酸链球菌素对乳酸菌抑菌作用的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 352-355.

[24] 蔡鲁峰,杜莎,谭雅,等. 乳酸菌肉品发酵剂的发酵特性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 150-156.

[25] 杨俊俊. 西藏牦牛奶渣中微生物的分离鉴定及优良乳酸菌的筛选[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2014: 62-70.

[26] HANSEN G, JOHANSEN C L, MARTEN G, et al. Influence of extracellular pH on growth, viability, cell size, acidification activity, and intracellular pH of *Lactococcus lactis*, in batch fermentations [J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2016, 100(13): 1-12.

[27] BISCHOF J C, WOLKERS W F, TSVETKOVA N M, et al. Lipid and protein changes due to freezing in Dunning AT-1 cells [J]. Cryobiology, 2002, 45(1): 22-32.

[28] 吴文茹,汪政煜,范梦茹,等. 乳酸菌的抗冷冻性及冻干保护[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 246-249.

[29] 王学良,韩雪,王海娟,等. 乳酸菌在各种胁迫下的应激反应研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 365-369.