

杏仁油的提取、营养组成及健康功效研究进展

Advance on extraction, nutritional composition and health benefit of almond oil

高源¹ 王伯侃² 薛芳¹ 贯云娜¹ 陈丹丹³

GAO Yuan¹ WANG Bo-kan² XUE Fang¹ GUAN Yun-na¹ CHEN Dan-dan³

(1. 山东药品食品职业学院质量管理系, 山东 威海 264210; 2. 沈阳药科大学制药工程学院,

辽宁 沈阳 110016; 3. 北京红林制药有限公司, 北京 101407)

(1. Department of Quality Management, Shandong Drug and Food Vocational College, Weihai, Shandong 264210, China; 2. School of Pharmaceutical Engineering, Shenyang Pharmaceutical University, Shenyang, Liaoning 110016, China; 3. Beijing Honglin Pharmaceutical Co., Ltd., Beijing 101407, China)

摘要:杏仁油是以杏的种仁为原料,经过压榨、浸提等工艺得到的一种功能性植物油,具有抗氧化、抗炎症、抗肿瘤和预防心血管疾病等功效。文章从杏仁油的提取工艺、营养组成和健康功效等方面,对近年来国内外有关杏仁油的研究成果进行了全面综述,并对其未来发展方向进行了展望。

关键词:杏仁油;提取工艺;营养组成;健康功效

Abstract: Almond oil is a functional vegetable oil obtained from apricot kernel by pressing, extracting and other technologies, which has the effects of anti-oxidation, anti-inflammation, anti-tumor and prevention of cardiovascular diseases. In this review, the extraction process, nutritional composition and health effect of almond oil were summarized, and the future development tendency of almond oil was prospected.

Keywords: almond oil; extraction technology; nutritional composition; health benefit

杏仁是李属(*Prunus*)、蔷薇科(*Rosaceae*)和蔷薇目(*Rosales*)的杏仁亚属杏树的种子,是世界上最重要的商业生产的坚果之一^[1-3]。杏仁中含有约 50% 的油脂,主要是单不饱和脂肪酸(58%~72%),其中油酸含量达 57%~71%,其次是多不饱和脂肪酸(20%~30%)、植物甾醇、生育酚和角鲨烯^[4],对于抗氧化、抗炎症、抗肿瘤和预防心血管疾病具有重要意义^[5]。目前国内关于杏仁油

的研究还处于起步阶段,相关的研究报道较少。因此,文章拟对杏仁油的提取工艺、营养组成和健康功效进行综述,以期为推动以杏仁油为代表的木本粮油和林下经济高质量发展提供依据。

1 杏仁油的提取方法

1.1 压榨法

压榨法是制备杏仁油的最传统方法之一,其原理是通过机械外力将油脂从油料中挤压出来(见图 1),经过分拣、炒制等预处理的杏仁由投料口被送入榨油机器中,在机筒中被持续挤压,杏仁细胞中的油滴不断释放,当达到一定积累量后,由设备底部出口流出^[6]。Sena-moreno 等^[7]利用德国 CA59G 螺旋压榨机提取杏仁油,其产油率达到 51%~55%,具有较高的质量参数,其中氧化稳定性能够达到(19.7±0.3) h。根据压榨过程中是否引用外源热量,压榨法可以分为冷压榨和热压榨。冷压榨是指在不改变油的性质和不利用热量的情况下,通过机械工艺

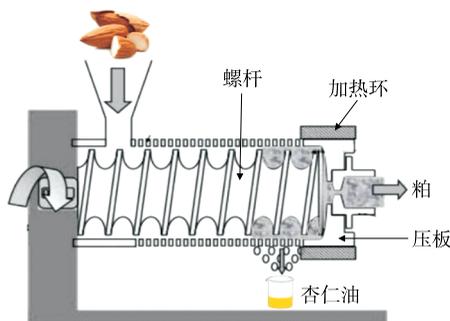


图 1 压榨法提取杏仁油的原理图^[6]

Figure 1 The schematic diagram of extraction of almond oil by pressing

基金项目:威海市中医药科技项目(编号:2022N-15);山东省职业教育教学改革研究项目(编号:2021142)

作者简介:高源(1981—),男,山东药品食品职业学院副教授,博士。E-mail: triterpene@126.com

收稿日期:2022-09-26 **改回日期:**2022-11-06

(如排出或挤压)获得的油。热压榨是在压榨过程中利用加热来提高出油率^[8]。Mirzaei等^[9]分别利用冷压榨和热压榨提取了杏仁油,前者得率 $[(15.6 \pm 0.5)\%]$ 明显低于后者 $[(23.2 \pm 1.2)\%]$,其主要原因在于较高温度促进杏仁细胞中油脂的流动,在机械外力下更容易被挤压出来。虽然压榨法具有操作工艺简单、安全性能高等优势,但压榨后产生的杏仁粕中含油量较高,会造成杏仁整体出油率较低,原料综合利用率下降,且设备自动化程度较低。

1.2 溶剂萃取法

溶剂萃取法一般被广泛用于含油量较高的油料种子的油脂提取,产生的饼粕中的残留油量仅为 $0.5\% \sim 0.7\%$ ^[10]。利用该法提取油脂会使用大量的有机溶剂,如乙醇、丙酮、戊烷、正己烷、氯仿和乙酸乙酯等,但由于正己烷易回收、汽化潜热低(330 kJ/kg)、沸点范围窄(63~69℃)、溶解性好、萃取效率高等优点,通常作为最佳的萃取剂被大量应用于油脂工业^[11]。正己烷萃取杏仁油的工艺流程主要包括油料清洗、烘干、焙烤、粉碎、萃取和溶剂回收等^[12]。Mirzaei等^[9]以正己烷为溶剂从野生杏仁中萃取杏仁油时,随着原料预处理温度的升高,出油率基本保持在 $46.1\% \sim 51.6\%$,但同时杏仁油中的次生产物苦杏仁苷的含量也在增加(26~49 mg/100 mL)。虽然利用溶剂萃取法提取油脂成本较低、工艺简单、产油率高,容易实现规模化和自动化,但提取后的毛油中溶剂残留量大,所使用的化学溶剂在提取和回收过程中会排放到环境中,并与其他污染物反应产生臭氧和光化学氧化剂,可能对环境对人类健康造成一定程度的危害^[13]。

1.3 水酶法

水提法是一种以水为溶剂从油料中提取植物油的传统方法,但水很难降解种子细胞的细胞壁,因此提取油脂的效率较低、产油量低^[14]。为了克服这一局限性,水酶法应运而生,它能同时回收植物油和蛋白质,在提取过程中,油胶束周围的细胞壁网络结构(纤维素、半纤维素和果胶)和不溶性蛋白质分别被糖酶(纤维素酶、半纤维素酶和果胶酶)和蛋白酶水解,油被释放到水介质中^[15-16]。水酶法操作简单、能耗低、绿色环保,是一种很有前途的新型绿色提取技术,也因此被广泛应用于功能性油脂的提取。Chodar Moghadas等^[17]利用水提法从经焙烤处理的杏仁中提取杏仁油,其中最佳工艺条件为杏仁焙烤温度 142°C 、焙烤时间16.5 min、pH 5.67,提取时间4.6 h,杏仁油得率为34.5%。而加入酶能大大提高杏仁油得率,Balvardi等^[18]使用蛋白酶(Alcalase 2.4L)和纤维素酶(Celluclast 1.5)辅助杏仁油的提取过程,在两种酶添加量 1.0 g/mL 、pH 5、温度 50°C 、提取时间4 h的条件下,杏仁油得率能够达到77.8%。与其他方法相比,水酶法在提取过程中减少了有机溶剂的使用,所得终产品具有优良

品质,产生的副产物如蛋白质和纤维素还能继续增值^[14],但所用酶制剂成本较高,提取条件苛刻。

1.4 微波辅助提取法

微波辅助提取技术是一种具有高提取效率、有吸引力和有发展趋势的植物油提取技术,它依赖于一个微波发生器,通过非电离的电磁波(300 MHz~300 GHz)辐射,电磁能量通过离子传导和偶极子旋转的孪生机制转化为热量^[12],使油料细胞内水分蒸发,并在细胞壁上形成高压,导致细胞壁膨胀、拉伸,最终破裂。细胞壁的破裂和孔隙的形成促进了胞内油体的释放,提高了油的产量^[19-20]。图2为油脂工业中利用微波辅助蒸汽法提取杏仁油的原理图,将微波用于杏仁油的提取工艺中,并辅以水蒸气蒸料,一方面可以调节杏仁原料的水分,另一方面可以利用水蒸气渗透破坏杏仁细胞壁^[22]。微波辅助提取法可以在较短时间内产生高品质的杏仁油,Juhaimi等^[23]研究了360,540,720 W的微波处理对4种不同品种的杏仁(*Cataloglu*、*Hasanbey*、*Kabaası*、*Sogancoglu*)产油率、酚类化合物的影响,结果发现杏仁在微波受热后,籽粒含水量有所下降,含油量增加。未经过微波处理的样品(对照组)含油量为53.47%(*Hasanbey*),56.44%(*Kabaası*),720 W微波处理后的籽粒含油量分别为56.18%,58.17%。此外,微波处理也能有效提高杏仁油中总酚含量,对照组杏仁油中总酚含量分别为27.18,38.51,27.98,38.21 mg GAE/100 g,经540 W微波提取的杏仁油中总酚含量分别为33.71,43.64,39.88,45.28 mg GAE/100 g。

1.5 超声辅助提取法

超声波辅助提取法具有以下优点:①减少用于提取的溶剂用量;②能够有效缩短提取时间,提高目标产物的

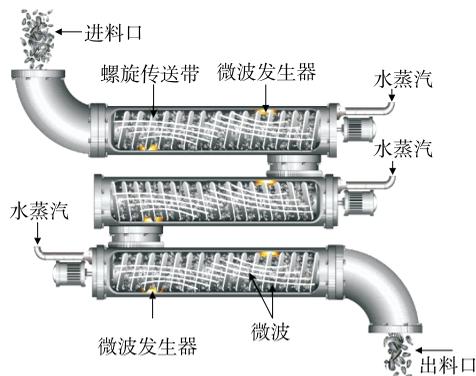


图2 连续工业规模中微波辅助蒸汽法提取杏仁油原理图^[21]

Figure 2 The schematic diagram of microwave-assisted steam extraction of almond oil in continuous industrial scale

提取效率;③能够减少能源消耗,具有更好的环境和经济效益^[24]。图 3 为实验室利用超声辅助索氏提取法制备杏仁油的原理图,基于超声波产生的空化效应、热效应和机械效应,在杏仁油提取过程中,杏仁细胞壁的渗透性增强,更易于破裂,提高了杏仁油的传质速率^[25]。应用超声波辅助提取技术能够减少索氏提取(溶剂萃取)所需的循环次数,与传统的提取方法相比,超声波辅助提取能够显著减少提取时间^[21]。且经超声处理后,产油量增加了 75%以上^[26]。Thanou 等^[27]以己烷与异丙醇($V_{\text{己烷}}:V_{\text{异丙醇}}$ 为 3:2)的混合溶液作为提取溶剂,在超声功率 220 W、温度 25 °C、料液比 1:20 (g/mL)条件下,对杏仁粉中的油脂进行提取,杏仁油得率达到 $(50.1 \pm 0.5)\%$,同时具有较强的体外生物活性,对血栓和血浆氧化的半抑制浓度(IC_{50})分别为 (12.80 ± 0.90) , $(1.09 \pm 0.03) \mu\text{g}/\mu\text{L}$ 。Gayas 等^[28]利用响应面分析法对超声辅助提取法的工艺参数进行了优化,其最佳提取工艺为提取时间 43.95 min、提取温度 51.728 °C、料液比 1:19.8 (g/mL)、超声频率 40 kHz,超声波通过加速细胞肿胀,并伴随着组织基质的破碎,使得细胞中的杏仁油得以释放,其得率为 40.86%~46.01%。虽然超声辅助法能够大大缩短提取时间,减少化学溶剂消耗量,对油中营养物质的热损伤小,但设备成本和能耗较大,难以实现规模化工业化量产。

1.6 超临界流体萃取法

超临界流体萃取法是在低极性流体萃取的基础上发展起来的一种新型萃取技术,该技术利用超临界流体在气液临界点(超临界状态)提取植物油和其他天然活性成分^[29]。与其他传统提取技术相比,超临界流体萃取法能克服传统有机溶剂萃取和挤出压榨方法的缺陷,提取过程中使用较低温度,能够有效降低能耗,防止油脂氧化,此外由于溶质相中无有机溶剂,所提取的油脂中几乎无

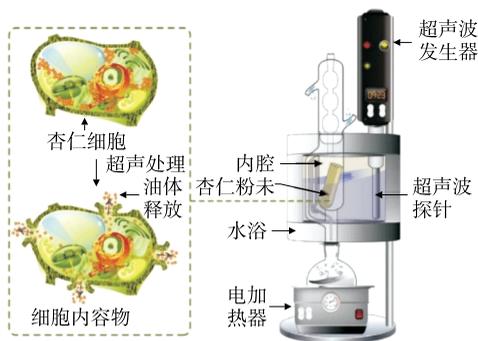


图 3 实验室利用超声辅助提取法制备杏仁油的原理图^[21]

Figure 3 The schematic diagram of almond oil preparation by ultrasound-assisted extraction in laboratory

溶剂残留^[30-31]。由于 CO_2 临界压力和温度较低,超临界流体萃取法通常以惰性无毒的 CO_2 作为流体介质,图 4 为超临界 CO_2 萃取法提取杏仁油的原理图,钢瓶中的压缩气体 CO_2 经泵、管道进入加热器被加热至适宜的温度,通常将乙醇作为助溶剂与 CO_2 一起进入样品罐(提取器)中。提取过程中,含有杏仁油的 CO_2 流过排出阀,使得杏仁油与 CO_2 分离并不断流进收集器中^[12, 32]。Salinas 等^[32]利用超临界流体技术从杏仁中提取杏仁油,并评估温度(40, 60 °C)和压力(20, 30, 40 MPa)对杏仁油得率和油中营养成分的影响,结果显示在温度 60 °C、压力 40 MPa 的条件下,杏仁油得率为 $(40 \pm 1)\%$,其中单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量分别为 (363 ± 4) , $(468 \pm 13) \text{ mg/g}$,其他各项理化品质均符合食用油的标准。由于该技术所用设备造价较高,很难实现大规模工业化生产,因此目前超临界流体萃取法仅应用于实验室研究。

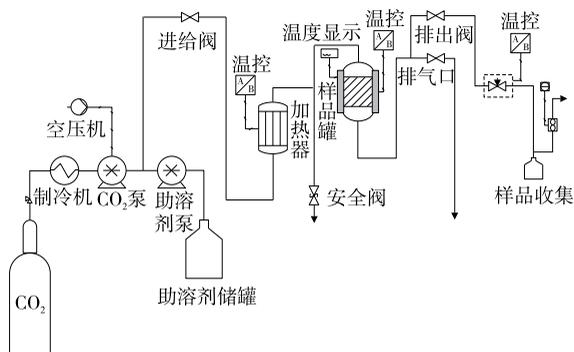


图 4 超临界 CO_2 萃取法提取杏仁油原理图^[32]

Figure 4 Schematic diagram of extracting almond oil by supercritical CO_2 extraction

2 杏仁油的营养成分

2.1 脂肪酸组成

杏仁作为一种最健康、最有营养、无胆固醇的坚果,早在 2007 年,美国食品药品监督管理局(FDA)就将其列为营养密集型食物^[33]。有研究^[34]认为,摄入 100 g 杏仁可以提供 2 407 kJ 热量、12.2 g 纤维、26 mg 维生素 E、52.8 g 总脂肪、21 g 蛋白质,表明杏仁中油脂是主要的营养成分。杏仁油是由一系列的脂肪酸($\text{C}_{14} \sim \text{C}_{20}$)组成,包括饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)。

杏仁油的脂肪酸组成是评价其品质的关键参数之一,脂肪酸组成及其含量主要取决于杏仁的基因型,并受产地、气候、收获时间、提取方法和贮藏条件等多重因素影响。由表 1 可知,杏仁油的营养价值主要体现在含有较高比例的 MUFA(58%~72%),尤其是油酸和亚油酸,

其含量之和占总脂肪酸的90%以上。油酸作为一种含量最高的MUFA,具有降低人体低密度脂蛋白(LDL)胆固醇的作用,此外较高含量的油酸可以防止植物油在贮藏和运输过程中发生酸败^[47]。杏仁油中油酸含量可达57%~75%,明显高于其他大宗食用油中油酸含量,如大豆油(24.77%)、葵花籽油(25.92%)、芝麻油(40.72%)、花生油(53.77%)和玉米油(31.97%)等^[48]。杏仁油中PUFA的含量(16%~33%)也高于椰子油(1.90%)、花生油(26.96%)、芥子油(27.28%)和棕榈油(11.54%)等植物油^[48]。PUFA在缓解炎症反应,改善血管和致癌生物标志物,降低糖尿病、肥胖、骨质疏松、神经变性等疾病风险方面均具有明显功效^[49],是杏仁油多种生物活性的物质基础。

2.2 生育酚

杏仁油中有90%以上的维生素是生育酚,其主要含有4种同分异构体,分别为 α -生育酚、 β -生育酚、 γ -生育酚、 δ -生育酚,均是植物油中重要的天然抗氧化剂,不仅能抑制自由基的产生,还具有抑制脂质过氧化的作用^[50]。杏仁油中的生育酚含量及其组成受杏仁品种、种植环境和提取条件等多种因素的影响,Kodad等^[51]研究了西班

牙和摩洛哥17种杏仁油中的生育酚组成,发现大多数杏仁油中的生育酚以 α -生育酚为主,其含量为210.9~553.4 mg/kg,其次是 γ -生育酚(4.64~14.92 mg/kg)、 δ -生育酚(0.20~1.02 mg/kg),而 α -生育酚是杏仁油具有自由基清除能力和氧化稳定性的最重要贡献者。膳食中的 α -生育酚已被证明可以降低患心血管疾病和癌症的风险^[31]。Qi等^[31]比较了冷榨法、液压法和超临界流体萃取法3种方法对杏仁油中生育酚的影响,结果显示利用超临界流体萃取法制备的杏仁油中 α -生育酚含量最高(17.64~36.49 mg/kg),这主要取决于超临界流体较强的选择性。Wang等^[52]研究发现,野生杏仁油中总生育酚含量为537.4~682.8 mg/kg,在生育酚组成中, γ -生育酚含量最高[(475.7±25.5) mg/kg],而 α -生育酚仅为(55.0±1.8) mg/kg。据报道^[53], γ -生育酚也是开心果、核桃、山核桃、松子、花生和腰果等坚果中含量较高的生育酚,能够显著抑制促炎细胞因子的形成,有效缓解机体炎症反应。

2.3 植物甾醇和角鲨烯

作为存在于油籽细胞膜中的一类活性化合物,植物甾醇具有降低血浆低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平,

表1 不同产地及不同提取方法得到的杏仁油脂肪酸组成及含量[†]

Table 1 Fatty acid composition and content of almond oil obtained from different producing areas and different extraction methods

产地	提取方法	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	ΣSFA	ΣMUFA	ΣPUFA	%
中国内蒙 ^[35]	PE	3.45±0.05	0.57±0.03	71.91±0.01	23.95±0.11	0.12±0.11	4.02±0.02	—	—	
中国甘肃 ^[36]	PE	4.35±0.15	1.54±0.11	65.61±1.93	26.52±2.30	0.38±0.37	—	—	—	
西班牙 ^[7]	PE	6.60±0.00	2.00±0.00	68.90±0.14	21.50±0.14	0.10±0.00	—	—	—	
阿根廷 ^[37]	PE	6.74±0.06	1.84±0.58	71.24±0.36	19.77±0.14	—	—	—	—	
土耳其 ^[38]	PE	4.87±0.17	1.17±0.17	61.56±1.21	21.56±0.34	0.05±0.01	—	—	—	
伊朗 ^[17]	PE	9.20±0.60	0.60±0.10	67.50±0.50	22.00±0.40	—	9.80±0.60	—	—	
克罗地亚 ^[39]	PE	5.79±0.65	1.24±0.01	62.73±1.23	29.18±1.99	—	6.82±0.35	63.86±2.13	29.31±1.63	
伊朗 ^[40]	SE	9.50±0.10	2.60±0.10	66.70±0.40	20.70±0.40	—	12.10±0.80	—	—	
土耳其 ^[38]	SE	4.13±0.23	1.03±0.07	60.13±0.72	20.17±0.77	0.03±0.01	—	—	—	
中国陕西 ^[41]	SE	1.54±0.02	0.57±0.02	68.80±0.60	28.69±0.63	0.08±0.02	2.11±0.00	69.11±0.00	28.77±0.00	
阿富汗 ^[42]	SE	6.21±0.41	2.25±0.19	71.66±4.81	16.45±0.91	0.21±0.02	10.98±0.00	72.35±0.00	16.67±0.00	
伊朗 ^[18]	AEE	12.40±0.30	7.70±0.60	59.80±0.30	18.50±0.50	0.10±0.00	20.10±0.70	61.40±0.40	18.60±0.60	
中国陕西 ^[43]	AEE	4.09±0.05	2.25±0.07	70.11±0.10	22.31±0.08	0.10±0.01	6.34±0.05	71.25±0.13	22.41±0.09	
中国承德 ^[44]	AEE	4.02±0.05	2.31±0.06	70.16±0.10	22.24±0.09	—	—	—	—	
土耳其 ^[23]	MAE	6.43±0.47	1.83±0.09	69.42±0.78	22.37±0.57	0.28±0.03	—	—	—	
土耳其 ^[45]	UAE	4.98±0.08	1.28±0.01	75.32±0.11	17.47±0.04	0.05±0.00	—	—	—	
克罗地亚 ^[39]	SFE	5.93±0.91	1.46±0.35	57.33±2.80	33.81±2.15	—	7.57±0.43	58.45±2.54	33.98±2.14	
伊朗 ^[46]	SFE	9.40±0.00	3.18±0.00	70.78±0.00	16.04±0.00	0.09±0.00	—	—	—	

[†] PE. 压榨法;SE. 溶剂萃取法;AEE. 水酶法;UAE. 超声辅助提取法;MAE. 微波辅助提取法;SFE. 超临界流体萃取法;ΣSFA. 总饱和脂肪酸;ΣMUFA. 总单不饱和脂肪酸;ΣPUFA. 总多不饱和脂肪酸。

预防心血管疾病的作用。杏仁油中总甾醇含量为 1 796~4 554 mg/kg,并以 β -谷甾醇为主(64.45%~80.13%)^[52],其次是 Δ^5 -燕麦甾醇(6.34%~17.05%)^[52],而存在微量的菜油甾醇、 $\Delta^5,24$ -豆甾二烯醇、 Δ^7 -燕麦甾醇、豆甾醇、 Δ^7 -豆甾烯醇、 Δ^7 -菜油甾醇等^[54]。Matthäus 等^[54]对野生杏仁油中的甾醇含量进行了测定,结果发现总甾醇含量为 2 608~5 114 mg/kg,其中 β -谷甾醇(1 986~3 908 mg/kg)、 Δ^5 -燕麦甾醇(215.9~581.7 mg/kg)和菜油甾醇(75.8~172.3 mg/kg)是主要组分,显著高于其他坚果油,如核桃油(总甾醇含量为 1 740.91~2 048.05 mg/kg, β -谷甾醇含量仅为 1 139.76~1 444.68 mg/kg)^[55]、花生油(总甾醇含量为 2 830 mg/kg, β -谷甾醇含量仅为 1 690 mg/kg)^[56]。角鲨烯是植物甾醇的生物合成中间体,具有抗氧化、抗炎和抗动脉粥样硬化等多种生物活性^[57],并在杏仁油中亦有分布,且不同产地的杏仁油中角鲨烯含量存在明显差异,产自爱尔兰^[58]、巴西^[59]、德国^[60]、阿根廷^[61]的杏仁油中角鲨烯含量分别为 95.09, 96.43~113.11, 134, 37.9~114.2 mg/kg。Wang 等^[52]在测定杏仁油化学组成中发现,4 个中国本土杏仁品种的油脂中角鲨烯含量为 131.20~274.80 mg/kg,显著高于其他果仁油,如山核桃(16.8 mg/kg)^[62]、核桃(9.7 mg/kg)^[63]和夏威夷果(91.15 mg/kg)^[64]等。

3 杏仁油的健康功效

3.1 抗氧化作用

杏仁油含有丰富的不饱和脂肪酸(尤其是油酸、亚油酸)和多种生物活性成分(如生育酚、多酚类物质等),为优良天然抗氧化剂^[65-66]。细胞内的氧化还原平衡对机体稳态至关重要,氧化应激反应是由自由基、活性氧(ROS)积累过多,引起机体抗氧化防御能力下降,最终导致一系列生理过程异常,如细胞信号传导、增殖、分化、凋亡等,最终会导致炎症、神经退行性疾病和代谢疾病(如糖尿病、高血压、动脉粥样硬化和阿茨海默病等)^[67]。通过膳食补充适量杏仁油可以捕获体内过量自由基,有效降低体内氧化应激水平,降低患病风险^[68]。Arranz 等^[69]对比了核桃油、杏仁油、花生油、榛子油、开心果油清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基(DPPH·)的半最大效应浓度(EC₅₀),其大小顺序为核桃油>花生油>杏仁油>榛子油>开心果油,表明杏仁油有着比核桃油、花生油等大宗植物油更强的清除自由基能力,而这些油中的生育酚和多酚可能是影响其清除自由基能力的主要因素。Zhao 等^[70]研究了甜杏仁油的体外和体内抗氧化性,以 DPPH·、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐自由基(ABTS·)和羟自由基(OH·)的清除能力来评价杏仁油的抗氧化能力,结果表明杏仁油的 DPPH·、

ABTS·和 OH·清除能力分别为 5, 20, 20 mg/mL。体内试验表明,杏仁油的干预能够有效抑制 H₂O₂ 和 CCl₄ 暴露下酿酒酵母的细胞内氧化和脂质过氧化,提高酵母细胞存活率。该研究还发现 *Gsh1* 基因编码的过氧化氢酶可能参与了酿酒酵母细胞内氧化应激反应,杏仁油的摄入能够有效抑制 *Gsh1* 基因的表达,达到抗氧化的效果。综上,杏仁油发挥抗氧化作用的机制主要有:① 抑制自由基产生或清除机体内积累的自由基,降低氧化应激水平;② 杏仁油中的活性成分协同体内抗氧化酶系,阻断细胞内脂质过氧化反应,维持细胞代谢和氧化还原平衡。

3.2 抗炎作用

炎症通常是由于各种刺激(如病原体、组织损伤或污染物)引起的组织内稳态紊乱而产生的普遍反应,是许多病理状况的关键驱动因素,如过敏、呼吸系统疾病、癌症、阿尔茨海默病等^[71]。杏仁油的抗炎作用主要得益于其中所含的不饱和脂肪酸、多酚类物质和生育酚等。有关杏仁油体外或体内抗炎活性研究中,涉及的抗炎机制为:① 减少免疫细胞浸润^[3];② 抑制促炎细胞因子的产生,如肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、白细胞介素-6(IL-6)、IL-1 β 、IL-8、单核细胞趋化蛋白-1(MCP-1)、中性粒细胞趋化因子-1(CINC-1)等^[72];③ 减少炎症标志物,如前列腺素 E2(PGE2)、核因子 κ B(NF- κ B)、一氧化氮(NO)等^[73];④ 作为炎症酶的抑制剂,如一氧化氮合成酶(iNOS)、环氧合酶-2(COX-2)、聚腺苷二磷酸核糖聚合酶(PARP)等^[72]。Zorrilla 等^[74]认为富含多酚的杏仁油能够使大鼠结肠炎模型炎症细胞浸润减少,抑制髓过氧化物酶(MPO)活性和其他相关酶,如 iNOS 等。Müller 等^[72]的研究显示,富含油酸的杏仁油可以显著抑制 iNOS 和 COX-2 活性,降低促炎细胞因子 TNF- α 的水平来达到抗炎目的。

3.3 抗癌作用

近年来,大多数研究^[75-77]显示含有杏仁油的饮食在一定程度上可以降低患结肠癌和乳腺癌的风险。将杏仁油与结肠癌细胞 Colo-320 和 Colo-741 混合培养,利用针对骨形态发生蛋白 2(BMP-2)、 β -连环蛋白、Ki-67(肿瘤增殖标记物)、富含亮氨酸重复的 G 蛋白偶联受体 5(LGR-5)和 Jagged 1 蛋白的抗体,通过免疫细胞化学研究了杏仁油的体外抗结肠癌细胞增殖活性,发现杏仁油含有丰富的油酸(75.3%~77.8%),通过降低 Ki-67、BMP-2 和 β -catenin 的表达,减少了其他在肿瘤生存能力转移和转录因子中起作用的信号分子,达到了抗增殖作用^[70]。坚果类食品(杏仁、核桃和花生等)丰富的不饱和脂肪酸可能是其发挥抗癌活性的主要内因, Lee 等^[78]揭示了大量食用坚果和降低结直肠癌风险之间有统计学上的显著关联。Soriano-Hernandez 等^[77]在确定花生、核桃和杏仁的摄入量与乳腺癌的发生是否存在联系的研究中发现,高频率(每周一次)食用花生、核桃或杏仁可以显著降低患

乳腺癌的风险。因为杏仁油的摄入通过抑制癌细胞核增殖相关蛋白的表达,干扰癌细胞信号转导,最终抑制癌细胞的生长与增殖。

3.4 预防心血管疾病

心血管疾病(CVDs)是全世界死亡的主要原因。多种炎症危险因素如总胆固醇(TC)和氧化低密度脂蛋白(ox-LDL)、炎症细胞因子(IL-1 β 、IL-6 和 TNF- α 等)、细胞黏附分子(细胞间黏附分子-1、选择素)、C反应蛋白(CRP)的表达和活性的增加造成 CVDs 的潜在因素^[79-80]。杏仁油中丰富的单不饱和和 ω -9 脂肪酸(油酸)通过调节血脂水平,降低胆固醇而实现杏仁油的心血管保护功能。在试验动物模型中补充含杏仁油的饮食,可以显著降低血液中 TC、LDL-C 和甘油三酯(TG)水平,明显提高高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)水平,通过改善血脂异常来预防 CVDs^[81]。Damasceno 等^[82]评估了将背景饮食中 40% 的脂肪替换为杏仁油对血脂和心血管疾病风险的中间标志物的影响,结果发现摄入含杏仁油的膳食后,18 名志愿者血液中 LDL-C、TG、CRP 较基线分别下降了 13.38%, 11.03%, 19.05%。Zibaenezhad 等^[83]通过给予高脂血症患者每日 2 次 10 mL 杏仁油,连续 30 d,测定杏仁油干预前后的血清脂蛋白水平来确定杏仁油对患者血脂谱的影响,干预组 TC 和 LDL 水平显著降低(治疗前后差异为 -16.12, -20.88),摄入含杏仁油的饮食对 CVDs 患病风险的降低作用主要与其含有丰富的 MUFA、植物甾醇、多酚类物质有关^[84]。

4 总结与展望

杏仁油中脂肪酸比例充足,单不饱和脂肪酸以油酸为主,饱和脂肪酸以棕榈酸和硬脂酸为主,多不饱和脂肪酸以亚油酸为主,还富含其他生物活性化合物,如植物甾醇、角鲨烯和生育酚等,其中 α -生育酚和 β -谷甾醇具有较高的水平。这些丰富的活性成分使杏仁油具有多种营养和功能,杏仁油已被证明可以通过降低总胆固醇和血浆低密度脂蛋白胆固醇水平,防止氧化损伤,并降低心血管疾病和癌症的风险。然而现阶段国内外对杏仁油的研究还处于基础阶段,其产品主要用于食品香料和化妆品工业。近年来,人们对高质量、高产量的杏仁油的需求越来越大,未来的主要工作需围绕以下 3 个方面:① 探索绿色高效的杏仁油提取加工技术。不同的提取工艺对杏仁油的得率以及营养组成均有较大影响,利用合适的提取技术有利于最大限度地获得杏仁油中的活性成分。② 加强杏仁油生物活性及其潜在机制研究。目前关于杏仁油生物活性的研究基本上是通过动物模型来开展,大规模人群干预试验证据支撑不足,其潜在机制不明确。未来要不断改进杏仁油中活性成分的提取纯化技术,紧紧围绕临床试验,集中研究杏仁油的营养成分和健康效益之间

的潜在联系,以帮助开发功能性杏仁油产品。③ 进一步提升杏仁加工剩余物综合利用水平。杏仁作为具有较高经济价值的坚果,在提取杏仁油后残留的粕中仍含有较高水平的植物油和蛋白质,后续可以集中于全面利用杏仁粕,促进杏仁及其加工副产物的高值化利用。

参考文献

- [1] BARRECA D, NABAVI S M, SUREDA A, et al. Almonds (*Prunus dulcis* Mill. DA webb): A source of nutrients and health-promoting compounds[J]. *Nutrients*, 2020, 12(3): 672.
- [2] COLIC S, ZEC G, NATIC M, et al. Fruit oils: Chemistry and functionality[M]. Germany: Springer, 2019: 149-180.
- [3] BARRAL-MARTINEZ M, FRAGA-CORRAL M, GARCIA-PEREZ P, et al. Almond by-products: Valorization for sustainability and competitiveness of the industry[J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1 793.
- [4] OUZIR M, BERNOUSSI S E, TABYAOUI M, et al. Almond oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction methods, preservation conditions, potential health benefits, and safety [J]. *Compr Rev Food Sci F*, 2021, 20(4): 3 344-3 387.
- [5] ZCAN M M. A review on some properties of almond: impact of processing, fatty acids, polyphenols, nutrients, bioactive properties, and health aspects[J]. *J Food Sci Technol*, 2022(2): 1-12.
- [6] SAVOIRE R, LANOISELLÉ J, VOROBIEV E. Mechanical continuous oil expression from oilseeds: A review [J]. *Food Bioprocess Tech*, 2013, 6(1): 1-16.
- [7] SENA-MORENO E, PARDO J E, PARDO-GIMÉNEZ A, et al. Differences in oils from nuts extracted by means of two pressure systems[J]. *Int J Food Prop*, 2016, 19(12): 2 750-2 760.
- [8] CHEW S C. Cold-pressed rapeseed (*Brassica napus*) oil: Chemistry and functionality[J]. *Food Res Int*, 2020, 131: 108997.
- [9] MIRZAEI H, REZAEI K. Amygdalin contents of oil and meal from wild almond: Effect of different heat pretreatment and extraction methods[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2019, 96(10): 1 163-1 171.
- [10] KHEDKAR S V, CHAVAN Y P, BHAGAT S L. Extraction of oil from algae by solvent extraction and oil expeller method[J]. *Int J Chem Sci*, 2011, 9(4): 1 746-1 750.
- [11] KUMAR S P, PRASAD S R, BANERJEE R, et al. Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds[J]. *Chem Cent J*, 2017, 11(1): 1-7.
- [12] RANI H, SHARMA S, BALA M. Technologies for extraction of oil from oilseeds and other plant sources in retrospect and prospects: A review[J]. *J Food Process Eng*, 2021, 44(11): e13851.
- [13] PANADARE D C, RATHOD V K. Three phase partitioning for extraction of oil: A review[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2017, 68: 145-151.
- [14] MWAURAH P W, KUMAR S, KUMAR N, et al. Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization[J]. *Compr Rev Food Sci F*, 2020, 19(1): 3-20.
- [15] CAMPBELL K A, GLATZ C E, JOHNSON L A, et al. Advances in

- aqueous extraction processing of soybeans[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2011, 88(4): 449-465.
- [16] YUSOFF M M, GORDON M H, EZEH O, et al. Aqueous enzymatic extraction of *Moringa oleifera* oil[J]. *Food Chem*, 2016, 211: 400-408.
- [17] CHODAR MOGHADAS H, REZAEI K. Laboratory-scale optimization of roasting conditions followed by aqueous extraction of oil from wild almond[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2017, 94(6): 867-876.
- [18] BALVARDI M, REZAEI K, MENDIOLA J A, et al. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of oil from Iranian wild almond[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2015, 92(7): 985-992.
- [19] DANLAMI J M, ARSAD A, ZAINI M A A, et al. A comparative study of various oil extraction techniques from plants[J]. *Rev Chem Eng*, 2014, 30(6): 605-626.
- [20] TAGHVAEI M, JAFARI S M, NOWROUZIEH S, et al. The influence of cooking process on the microwave-assisted extraction of cottonseed oil[J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(2): 1 138-1 144.
- [21] KOUBAA M, MHEMDI H, BARBA F J, et al. Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview[J]. *Food Res Inter*, 2016, 85: 59-66.
- [22] RAGAB T I, EL GENDY A N G, SALEH I A, et al. Chemical composition and evaluation of antimicrobial activity of the *Origanum majorana* essential oil extracted by microwave-assisted extraction, conventional hydro-distillation and steam distillation[J]. *J Essent Oil Bear Pl*, 2019, 22(2): 563-573.
- [23] JUHAIMI F A, ÖZCAN M M, GHAFOR K, et al. The effect of microwave roasting on bioactive compounds, antioxidant activity and fatty acid composition of apricot kernel and oils[J]. *Food Chem*, 2018, 243: 414-419.
- [24] MUSHTAQ A, ROOBAB U, DENOYA G I, et al. Advances in green processing of seed oils using ultrasound-assisted extraction: A review[J]. *J Food Process Pres*, 2020, 44(10): e14740.
- [25] CÁRCCEL J A, GARCÍA-PÉREZ J V, BENEDITO J, et al. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound[J]. *J Food Eng*, 2012, 110(2): 200-207.
- [26] BIMAKR M, RAHMAN R A, TAIP F S, et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of crude oil from winter melon (*Benincasa hispida*) seed using response surface methodology and evaluation of its antioxidant activity, total phenolic content and fatty acid composition[J]. *Molecules*, 2012, 17(10): 11 748-11 762.
- [27] THANOU K, KAPSI A, PETSAS A S, et al. Ultrasound-assisted extraction of Texas variety almond oil and in vitro evaluation of its health beneficial bioactivities[J]. *J Food Process Pres*, 2021, 46(10): e16144.
- [28] GAYAS B, KAUR G, GUL K. Ultrasound-assisted extraction of apricot kernel oil: Effects on functional and rheological properties [J]. *J Food Process Eng*, 2017, 40(3): e12439.
- [29] AHANGARI H, KING J W, EHSANI A, et al. Supercritical fluid extraction of seed oils: A short review of current trends[J]. *Trends Food Sci Tech*, 2021, 111: 249-260.
- [30] YOUSEFI M, RAHIMI-NASRABADI M, POURMORTAZAVI S M, et al. Supercritical fluid extraction of essential oils[J]. *TRAC-Trend Anal Chem*, 2019, 118: 182-193.
- [31] QI Z, XIAO J, YE L, et al. The effect of the subcritical fluid extraction on the quality of almond oils: Compared to conventional mechanical pressing method[J]. *Food Sci Nutr*, 2019, 7(7): 2 231-2 241.
- [32] SALINAS F, VARDANEGA R, ESPINOSA-ÁLVAREZ C, et al. Supercritical fluid extraction of chañar (*Geoffroea decorticans*) almond oil: Global yield, kinetics and oil characterization [J]. *J Supercrit Fluid*, 2020, 161: 104824.
- [33] AKUBUDE V C, MADUAKO J, EGWUONWU C, et al. Almond oil: Powerhouse of nutrients[J]. *Agr Eng Int: CIGR J*, 2020, 22(3): 190-201.
- [34] HUSSAIN S Z, NASEER B, QADRI T, et al. Fruits grown in highland regions of the himalayas[M]. Germany: Springer, 2021: 283-295.
- [35] 侯双瑞, 周波, 孙亚娟, 等. 烘焙工艺及杏仁种皮对杏仁油品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(6): 62-67.
- HOU S R, ZHOU B, SUN Y J, et al. Effects of different roasting conditions and apricot kernel skin on the qualities of apricot kernel oil[J]. *Sci Technol Food Ind*, 2019, 40(6): 62-67.
- [36] 王丹, 刘玉兰, 张东东, 等. 不同产地杏仁及其冷榨杏仁油的品质分析[J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(8): 39-43.
- WANG D, LIU Y L, ZHANG D D, et al. Quality analysis of apricot and cold pressed apricot kernel oil from different areas[J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 2016, 31(8): 39-43.
- [37] MARTÍNEZ M L, PENCI M C, MARIN M A, et al. Screw press extraction of almond (*Prunus dulcis* (Miller) DA Webb): Oil recovery and oxidative stability[J]. *J Food Eng*, 2013, 119(1): 40-45.
- [38] AL JUHAIMI F, ÖZCAN M M, GHAFOR K, et al. Comparison of cold-pressing and soxhlet extraction systems for bioactive compounds, antioxidant properties, polyphenols, fatty acids and tocopherols in eight nut oils[J]. *J Food Sci Technol*, 2018, 55(8): 3 163-3 173.
- [39] PAVLOVIC N, VIDOVIC S, VLADIC J, et al. Recovery of tocopherols, amygdalin, and fatty acids from apricot kernel oil: Cold pressing versus supercritical carbon dioxide[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2018, 120(11): 1800043.
- [40] MOAYEDI A, REZAEI K, MOINI S, et al. Chemical compositions of oils from several wild almond species[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2011, 88(4): 503-508.
- [41] WANG W, WANG H, XIAO X, et al. Wild almond (*Amygdalus pedunculata* Pall.) as potential nutritional resource for the future: Studies on its chemical composition and nutritional value[J]. *J Food Meas Charact*, 2019, 13(1): 250-258.
- [42] ZAMANY A J, SAMADI G R, KIM D H, et al. Comparative study of tocopherol contents and fatty acids composition in twenty

- almond cultivars of Afghanistan[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2017, 94(6): 805-817.
- [43] LIU L, YU X, ZHAO Z, et al. Efficient salt-aided aqueous extraction of bitter almond oil[J]. *J Sci Food Agr*, 2017, 97(11): 3 814-3 821.
- [44] 周末, 张凌雁, 于修焯, 等. 蔗糖溶液辅助水剂法提取苦杏仁油的工艺研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(12): 6-9.
ZHOU M, ZHANG L Y, YU X Z, et al. Aqueous extraction technology of bitter almond oil aided by sucrose solution[J]. *Chin Oils Fats*, 2017, 42(12): 6-9.
- [45] ÖZCAN M M, MOHAMED AHMED I A, USLU N, et al. Effect of sonication times and almond varieties on bioactive properties, fatty acid and phenolic compounds of almond kernel extracted by ultrasound-assisted extraction system [J]. *J Food Meas Charact*, 2021, 15(3): 2 481-2 490.
- [46] BALVARDI M, MENDIOLA J A, CASTRO-GÓMEZ P, et al. Development of pressurized extraction processes for oil recovery from wild almond (*Amygdalus scoparia*) [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2015, 92(10): 1 503-1 511.
- [47] KODAD O, SOCIAS I, COMPANY R. Variability of oil content and of major fatty acid composition in almond (*Prunus amygdalus Batsch*) and its relationship with kernel quality [J]. *J Agr Food Chem*, 2008, 56(11): 4 096-4 101.
- [48] DORNI C, SHARMA P, SAIKIA G, et al. Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India[J]. *Food Chem*, 2018, 238: 9-15.
- [49] SAINI R K, KEUM Y. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance: A review[J]. *Life Sci*, 2018, 203: 255-267.
- [50] LIU R, XU Y, CHANG M, et al. Antioxidant interaction of α -tocopherol, γ -oryzanol and phytosterol in rice bran oil[J]. *Food Chem*, 2020, 343(1): 128431.
- [51] KODAD O, ESTOPANAN G, JUAN T, et al. Tocopherol concentration in almond oil: Genetic variation and environmental effects under warm conditions[J]. *J Agr Food Chem*, 2011, 59(11): 6 137-6 141.
- [52] WANG W, WANG H, XIAO X, et al. Chemical composition analysis of seed oil from five wild almond species in China as potential edible oil resource for the future[J]. *S Afr J Bot*, 2019, 121: 274-281.
- [53] SOZEN E, DEMIREL T, OZER N K. Vitamin E: Regulatory role in the cardiovascular system[J]. *Iubmb Life*, 2019, 71(4): 507-515.
- [54] MATTHÄUS B, ÖZCAN M M. Quantification of sterol contents in almond (*Prunus amygdalus L.*) oils[J]. *Iran J Chem Chem Eng*, 2020, 39(2): 203-206.
- [55] GAO P, CAO Y, LIU R, et al. Phytochemical content, minor-constituent compositions, and antioxidant capacity of screw-pressed walnut oil obtained from roasted kernels[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2019, 121(1): 1800292.
- [56] ZHU M, WEN X, ZHAO J, et al. Effect of industrial chemical refining on the physicochemical properties and the bioactive minor components of peanut oil[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016, 93(2): 285-294.
- [57] LOU BONAFONTE J M, MARTÍNEZ BEAMONTE R, SANCLEMENTE T, et al. Current insights into the biological action of squalene[J]. *Mol Nutr Food Res*, 2018, 62(15): 1800136.
- [58] MAGUIRE L S, O SULLIVAN S M, GALVIN K, et al. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut[J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2004, 55(3): 171-178.
- [59] FERNANDES G D, GÓMEZ-COCA R B, PÉREZ-CAMINO M D C, et al. Chemical characterization of major and minor compounds of nut oils: Almond, hazelnut, and pecan nut[J]. *J Chem*, 2017(5): 1-11.
- [60] ESCHE R, MÜLLER L, ENGEL K H. Online LC-GC-based analysis of minor lipids in various tree nuts and peanuts[J]. *J Agr Food Chem*, 2013, 61(47): 11 636-11 644.
- [61] MAESTRI D, MARTÍNEZ M, BODOIRA R, et al. Variability in almond oil chemical traits from traditional cultivars and native genetic resources from Argentina[J]. *Food Chem*, 2015, 170: 55-61.
- [62] DOS SANTOS ALVES J, CONFORTIN T C, TODERO I, et al. Simultaneous extraction of oil and bioactive compounds from pecan nut using pressurized solvents[J]. *J Supercrit Fluid*, 2019, 153: 104598.
- [63] MAGUIRE L S, O'SULLIVAN S M, GALVIN K, et al. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut[J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2004, 55(3): 171-178.
- [64] SHUAI X, DAI T, CHEN M, et al. Comparative study of chemical compositions and antioxidant capacities of oils obtained from 15 macadamia (*Macadamia integrifolia*) Cultivars in China [J]. *Foods*, 2021, 10(5): 1 031.
- [65] CAMPIDELLI M L L, DE SOUZA CARNEIRO J D D, DE SOUZA E C, et al. Baru almonds (*Dipteryx alata* Vog.) and baru almond paste promote metabolic modulation associated with antioxidant, anti-inflammatory, and neuroprotective effects [J]. *Innov Food Sci Emerg*, 2022, 80: 103068.
- [66] CSAKVARI A C, LUPITU A, BUNGAU S, et al. Fatty acids profile and antioxidant activity of almond oils obtained from six Romanian varieties[J]. *Farmacia*, 2019, 67: 882-887.
- [67] ADWAS A A, ELSAYED A, AZAB A E, et al. Oxidative stress and antioxidant mechanisms in human body [J]. *J Appl Biot Bioeng*, 2019, 6(1): 43-47.
- [68] TIAN H, ZHANG H, ZHAN P, et al. Composition and antioxidant and antimicrobial activities of white apricot almond (*Amygdalus communis L.*) oil[J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2011, 113(9): 1 138-1 144.
- [69] ARRANZ S, CERT R, PÉREZ-JIMÉNEZ J, et al. Comparison between free radical scavenging capacity and oxidative stability of nut oils[J]. *Food Chem*, 2008, 110(4): 985-990.
- [70] ZHAO W, WANG L, YANG F, et al. Antioxidant activity assessment of Yingjisha sweet almond oil[J]. *Int J Food Sci*, 2022,

- 57(3): 1 773-1 781.
- [71] MURATA M. Inflammation and cancer[J]. *Environ Health Prev*, 2018, 23(1): 1-8.
- [72] MÜLLER A K, SCHMÖLZ L, WALLERT M, et al. In vitro digested nut oils attenuate the lipopolysaccharide: Induced inflammatory response in macrophages [J]. *Nutrients*, 2019, 11(3): 503.
- [73] BISIGNANO C, FILOCAMO A, LA CAMERA E, et al. Antibacterial activities of almond skins on cagA-positive and-negative clinical isolates of *Helicobacter pylori* [J]. *BMC Microbiol*, 2013, 13(1): 1-6.
- [74] ZORRILLA P, RODRIGUEZ-NOGALES A, ALGIERI F, et al. Intestinal anti-inflammatory activity of the polyphenolic-enriched extract Amanda in the trinitrobenzenesulphonic acid model of rat colitis[J]. *J Funct Foods*, 2014, 11: 449-459.
- [75] XI Y, XU P. Global colorectal cancer burden in 2020 and projections to 2040[J]. *Transl Oncol*, 2021, 14(10): 101174.
- [76] MERICLI F, BECER E, KABADAYI H, et al. Fatty acid composition and anticancer activity in colon carcinoma cell lines of *Prunus dulcis* seed oil[J]. *Pharm Biol*, 2017, 55(1): 1 239-1 248.
- [77] SORIANO-HERNANDEZ A D, MADRIGAL-PEREZ D G, GALVAN-SALAZAR H R, et al. The protective effect of peanut, walnut, and almond consumption on the development of breast cancer[J]. *Gynecol Obstet Inves*, 2015, 80(2): 89-92.
- [78] LEE J, SHIN A, OH J H, et al. The relationship between nut intake and risk of colorectal cancer: A case control study[J]. *Nutr J*, 2018, 17(1): 1-10.
- [79] TRAN D T, LEKHAK N, GUTIERREZ K, et al. Risk factors associated with cardiovascular disease among adult Nevadans[J]. *PLoS One*, 2021, 16(2): e247105.
- [80] SINGH H, AGRAWAL D K. Recent advances in the development of active hybrid molecules in the treatment of cardiovascular diseases[J]. *Bioorgan Med Chem*, 2022, 62: 116706.
- [81] ATEF A A. Therapeutic impacts of almond oil and olive oil on cholesterol dynamics and oxidative status in rats fed on atherogenic diet: Mechanism of action[J]. *J Biochem Mol Biol*, 2014, 32(1): 1-18.
- [82] DAMASCENO N R T, PÉREZ-HERAS A, SERRA M, et al. Crossover study of diets enriched with virgin olive oil, walnuts or almonds: Effects on lipids and other cardiovascular risk markers [J]. *Nutr Metab Cardiovas*, 2011, 21: S14-S20.
- [83] ZIBAEENEZHAD M J, OSTOVAN P, MOSAVAT S H, et al. Almond oil for patients with hyperlipidemia: A randomized open-label controlled clinical trial[J]. *Complement Ther Med*, 2019, 42: 33-36.
- [84] CARUGHI A, FEENEY M J, KRIS-ETHERTON P, et al. Pairing nuts and dried fruit for cardiometabolic health[J]. *Nutr J*, 2015, 15(1): 1-13.

(上接第 210 页)

- [62] ZAINUDIN B H, ISKANDAR M I, SHARIF S, et al. Validation of quick and highly specific quantitation method of mycotoxin in cocoa beans by high resolution multiple reaction monitoring technique for reference materials analysis [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 106(3): 1 575-1 583.
- [63] 胡巧茹, 曹鹏, 丛中笑, 等. 超高效液相色谱—四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱对粮谷产品中 20 种真菌毒素的快速筛查和确证[J]. *色谱*, 2019, 37(11): 1 241-1 248.
- HU Q R, QING P, CONG Z X, et al. Rapid screening and confirmation of 20 mycotoxins in grain products by ultrahigh performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high-resolution mass spectrometry[J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2019, 37(11): 1 241-1 248.
- [64] ARROYO-MANZANARES N, CAMPILLO N, LÓPEZ-GARCÍA L, et al. High-resolution mass spectrometry for the determination of mycotoxins in biological samples: A review[J]. *Microchemical Journal*, 2021, 166(2): 265-277.
- [65] GARCÍA-NICOLÁS M, ARROYO-MANZANARES N, CAMPILLO N, et al. Cellulose-ferrite nanocomposite for monitoring enniatins and beauvericins in paprika by liquid chromatography and high-resolution mass spectrometry[J]. *Talanta*, 2021, 226(4): 344-355.

(上接第 223 页)

- [63] 孙晓辉. 一种抗尿酸功能性食品及其制备工艺: 113812613A [P]. 2021-12-21.
- SUN X H. An anti uric acid functional food and its preparation process: 113812613A[P]. 2021-12-21.
- [64] 李成, 彭国杰, 吴凯强, 等. 一种蝉花菌质啤酒的制备方法: 108117943B[P]. 2021-12-24.
- LI C, PENG G J, WU K Q, et al. A preparation method of cicada flower mycoplasma beer: 108117943B[P]. 2021-12-24.
- [65] 唐国笔, 唐得俊. 一种蝉花虫草组合物及其制备的蝉花虫草饮料: 116076698A[P]. 2023-05-09.
- TANG G B, TANG D J. A cicada flower Cordyceps beverage prepared from cicada flower Cordyceps Composition: 116076698A [P]. 2023-05-09.
- [66] CHEN Y L, SHU-HSING Y, LIN T W, et al. A 90-day subchronic toxicity study of submerged mycelial culture of *Cordyceps cicadae* (Ascomycetes) in rats [J]. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2015, 17(8): 771-781.
- [67] 解思友, 尹彬, 龙文君, 等. 蝉花及其成分增强免疫、抗肿瘤药理作用研究进展[J]. *药物评价研究*, 2020, 43(4): 624-629.
- XIE S Y, YIN B, LONG W J, et al. Research progress of cicada flower and its components in enhancing immunity and anti-tumor pharmacology[J]. *Drug Evaluation Research*, 2020, 43(4): 624-629.