

南极磷虾油提取工艺的研究进展

徐晓斌,范宁宁,宗俊

(山东鲁华海洋生物科技有限公司,山东济南 251400)

摘要: 南极磷虾油是一种从南极磷虾中提取的功能性油脂,富含磷脂、虾青素、二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic Acid,DHA)和二十碳五烯酸(Eicosapentaenoic acid,EPA)等活性物质,对人体有多种生理功能,如预防心脑血管疾病,促进大脑发育、抗氧化、缓解痛风和类风湿关节炎等。南极磷虾油提取工艺目前主要有有机溶剂提取法、超临界-CO₂萃取法、亚临界萃取法、酶解结合有机溶剂提取法及压榨法等。本文综述了南极磷虾油的提取工艺,以期为企业生产南极磷虾油提供参考。

关键词: 南极磷虾油,磷虾粉,鲜虾,提取工艺

Research Progress on Extraction of Antarctic krill Oil

XU Xiao-bin, FAN Ning-ning, ZONG Jun

(Shandong Luhua Biomarine Co., Ltd., Jinan 251400, China)

Abstract: Antarctic krill oil is a kind of functional oil extracted from Antarctic krill, which is rich in phospholipids, astaxanthin, DHA and EPA. Antarctic krill oil has many physiological functions for the human body, such as preventing cardio-cerebrovascular diseases, promoting brain development, anti-oxidation, relieving gout and rheumatoid arthritis. At present, the extraction process of Antarctic krill oil is mainly composed of organic solvent extraction, supercritical-CO₂ extraction, sub-critical fluid extraction, and enzymolysis combined with organic solvent extraction, and pressing method. The extraction technology of Antarctic krill oil was summarized in this article, which provided reference for the production of Antarctic krill oil for enterprises.

Key words: Antarctic krill oil; kill meal; krill; extraction process

中图分类号:TS254.5

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2018)18-0306-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.18.053

引文格式:徐晓斌,范宁宁,宗俊.南极磷虾油提取工艺的研究进展[J].食品工业科技,2018,39(18):306-310.

磷虾(*Euphausia* spp)是一类海洋浮游甲壳动物,属节肢动物门、甲壳纲、磷虾目^[1]。在地球上,磷虾共有85种,生活在南大洋的磷虾统称为南极磷虾,约有7~8种,但通常人们所讲的南极磷虾一般指的是南极大磷虾(*Euphausia superba*)^[2]。南极磷虾资源丰富,是地球上生物量最大的单种生物之一^[3],据估算,其生物量约为10亿吨^[4]。

南极磷虾油是南极磷虾相关产品中营养功效和附加值都很高的产品。南极磷虾油的主要活性成分是磷脂、虾青素、DHA和EPA等。研究表明,南极磷虾油在预防心脑血管疾病^[5-7],促进大脑发育^[8]、抗氧化、缓解痛风和类风湿性关节炎^[9-11]等方面都有一定功效。因此南极磷虾油可广泛应用于食品、保健食品、生物医药等行业,具有较高的深度开发和应用价值。

目前南极磷虾油的提取工艺在国内外已有较多研究,其原料主要有磷虾粉和鲜虾两种,两者应用的提取方法有所不同。本文将对以磷虾粉和鲜虾为原

料的南极磷虾油的提取工艺作一综述。

1 以磷虾粉为原料的提取方法

南极磷虾粉是由南极磷虾经粉碎、干燥而成,一般在捕捞船上加工完成,运输和储存成本较低^[12]。南极磷虾的捕捞区域、季节及加工工艺等因素会影响磷虾粉的品质,如虾青素含量、脂肪含量及氧化程度等^[13-14]。因此由磷虾粉提取的南极磷虾油的品质因磷虾粉来源不同可能会有所差异^[15]。南极磷虾油提取方法主要是有机溶剂提取法、超临界-CO₂萃取法和亚临界萃取法等。

1.1 有机溶剂提取法

南极磷虾油的提取方法中有机溶剂提取法研究最多,该法可用单一溶剂或混合溶剂进行一步提取或连续逆流提取,或者用多种溶剂进行多步提取。

1.1.1 一步提取法 一步提取法是将南极磷虾粉用有机溶剂浸提,提取液脱除溶剂即可获得南极磷虾油。南极磷虾油提取常用的提取溶剂有乙醇、正己烷、石油醚、乙酸乙酯等^[16-18]。

收稿日期:2017-11-27

作者简介:徐晓斌(1990-),男,硕士,研究方向:南极磷虾的综合开发与利用,E-mail:bin-chinese@live.com。

基金项目:山东省重点研发计划(海洋医用食品)(2016YYSP001)。

南极磷虾油成分复杂,既含有属于中性脂的甘油三酯,又含有属于极性脂的磷脂。用单一溶剂很难将南极磷虾油的活性成分全部提取出来,不同研究表明以正己烷、石油醚等非极性溶剂提取的南极磷虾油虾青素含量较高,磷脂含量较低^[19-20];以异丙醇、乙醇等极性溶剂提取的南极磷虾油磷脂含量较高,虾青素含量较低^[17,21]。

相比单一溶剂,采用非极性溶剂和极性溶剂的混合溶剂进行提取,南极磷虾油得率(得率(%)=所得南极磷虾油质量/所用南极磷虾粉质量×100)更高,而且磷脂和虾青素含量也较高^[22]。孙甜甜^[20]比较了用氯仿-甲醇、95%乙醇和正己烷三种溶剂分别提取南极磷虾油时,在南极磷虾油得率及其活性成分含量等方面的差异,相关结果见表1。结果显示氯仿-甲醇所提取的南极磷虾油得率最高,磷脂含量高于正己烷提取的,虾青素含量高于95%乙醇提取的,不过氯仿-甲醇毒性较大,一般只作为实验室提取脂质的基础方法。另外正己烷:乙酸乙酯(7:3)^[23-24]、丙酮:乙醇(1:1)^[25]、正己烷:乙醇(9:1)^[26]等混合溶剂提取的南极磷虾油得率也比相应的单一溶剂更高。

表1 不同溶剂对南极磷虾油得率及活性成分含量的影响

Table 1 Effects of different solvents on yield and active components content of Antarctic krill oil

萃取溶剂	氯仿-甲醇	95%乙醇	正己烷
得率(%)	17.49±0.37	14.03±0.45	16.18±0.52
磷脂(%)	34.55±2.66	35.59±2.69	19.20±3.45
多不饱和脂肪酸(%)	34.42	43.80	34.85
虾青素(ppm)	810±2.33	261±3.24	1122±1.75
游离脂肪酸(%)	16.19±2.13	16.87±2.06	11.80±4.41

一步提取法操作简单,目前研究也较多。采用混合溶剂提取弥补了单一溶剂的不足,但是生产中混合溶剂的回收较单一溶剂复杂。

1.1.2 多步提取法 除用非极性溶剂和极性溶剂的混合溶剂进行一步提取外,也可分别用两者对南极磷虾油进行多步提取。

多步提取的方法为先用非极性溶剂或极性溶剂进行提取,提取后残渣再用另一种溶剂进行提取,提取液分别脱除溶剂,合并产物即获得南极磷虾油^[27]。任宪君等^[28]用石油醚和乙醇进行多步提取,得到含磷脂38%~45%、虾青素240~350 mg/kg的南极磷虾油。

如果先用非极性溶剂进行提取,所得磷虾油再用强极性溶剂富集磷脂可以得到高磷脂含量磷虾油。曹荣军等^[29]先用正己烷进行提取,脱除溶剂后的产物加入一倍重量的95%乙醇和1~2倍重量的0.01%~0.5%氯化钠溶液,4℃静置分层后,取下层减压蒸发,得到磷脂含量为50%~60%的南极磷虾油。

不同溶剂多步提取的方法,解决了混合溶剂的回收问题,但同时也使得操作流程更为复杂。

1.1.3 连续逆流提取法 连续逆流提取法是指提取的过程中,物料和溶剂以相反的方向连续运动。南

极磷虾油的提取过程是固相原料向低浓度液相浸出的传质过程,此过程中磷虾粉和溶剂中磷虾油的浓度差越大,传质的推动力和速度就越大,虾油的浸出率越大^[30]。在逆流提取过程中,连续进液和连续出液使溶剂中存在连续的浓度梯度,从而使溶质获得比较快的浸出速度,也可以获得比较高的提取液浓度。图1为多级逆流提取的示意图^[31]。

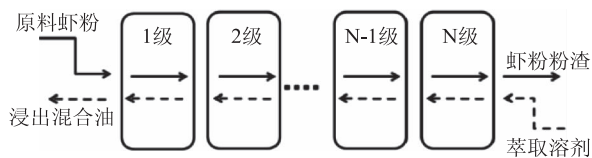


图1 多级逆流提取示意图

Fig.1 A schematic view of the multi-stage countercurrent extraction

Ronen L等^[26]以正己烷:乙醇(9:1)进行逆流提取,提取温度40℃,所得南极磷虾油中各成分含量为磷脂36.4 g/100 g, EPA 11.2 g/100 g, DHA 6.5 g/100 g。刘少芳等^[32]以95%乙醇为提取剂,料液比1:7,进行逆流提取,所得磷虾油磷脂含量为38.8%, EPA 18.1%, DHA 12.2%,得率为16.4%。

采用连续逆流提取法提取南极磷虾油,在提取率(提取率(%)=所得磷虾油质量/所用磷虾粉中含有的总脂肪质量×100)和提取效率方面有很大优势,而且自动化程度高,所以该法是南极磷虾油工业化生产中比较实用的方法。

1.2 超临界-CO₂ 萃取法

超临界流体萃取技术是一项比较先进的利用超临界流体分离天然有效成分的技术,超临界流体(Supercritical fluid, SCF)是指物质处于临界温度和临界压力以上状态时,向该状态气体加压,但气体不会液化而仍保留气体状态,只是密度增大并具有类似液体的性质,而且还保留气体的性能。超临界流体既具有气体易于扩散和运动的特点,又具有液体对溶质有较大溶解度的特点^[33-34]。

用超临界流体萃取法提取天然产物时,一般用CO₂作萃取剂。但是磷脂在超临界-CO₂中溶解度很小,CO₂流体可以将甘油三酯溶解出来但不会将磷脂溶出,不过萃取过程若以极性溶剂(如乙醇)为夹带剂,即在超临界-CO₂萃取过程中添加乙醇,提取物中可含有一定量的磷脂^[35-36]。孙甜甜^[20]采用极性夹带剂,进行超临界-CO₂萃取,获得磷脂含量为34.9%±1.84%的磷虾油,得率为16.66%。赵福江等^[37]先用乙醇喷洒磷虾粉,再进行超临界-CO₂萃取,获得磷脂含量为(37%~42%)的磷虾油,得率为(12%~18%)。

另外,利用超临界-CO₂萃取可以分别获得中性脂和磷脂。Bruheim I等^[38]先用超临界-CO₂或CO₂加5%的夹带剂进行萃取,获得中性脂,然后用超临界-CO₂加20%的夹带剂进行萃取,获得极性脂。如在500 bar、75℃条件下,首先用超临界-CO₂萃取获得14.20%的产物,其中含甘油三酯84 g/100 g;然后再用超临界-CO₂加20%的乙醇进行萃取,获得

13.19%的产物,其中含磷脂酰胆碱 67 g/100 g、磷脂酰乙醇胺 1.6 g/100 g、溶血磷脂酰胆碱 4.4 g/100 g。周大勇等^[39]在 15~30 MPa、30~50 ℃条件下用超临界-CO₂萃取,得到甘油三酯型磷虾油;然后再注入夹带剂 90%~100%乙醇,继续萃取;经超临界-CO₂萃取后的南极磷虾粉再用 90%~100%乙醇进行萃取,获得南极磷虾磷脂。Ali Nehari A 等^[40]也选择了先用超临界-CO₂萃取,萃取后的残渣用 95%乙醇提取,提取物用正己烷和丙酮进行纯化,所得磷脂纯度为 93%~97%。

与有机溶剂提取法相比,超临界-CO₂萃取法(使用夹带剂)对南极磷虾油的提取率更高^[41],溶剂的使用量更少,产品的类型更为丰富。但是超临界-CO₂萃取设备较为昂贵,投入成本高,以此法实现南极磷虾油的工业化生产存在一定的困难。

1.3 亚临界萃取法

亚临界萃取技术是利用亚临界流体为萃取剂,提取天然产物的一种技术。亚临界流体是指某些化合物在温度高于其沸点但低于临界温度,且压力低于其临界压力的条件下,以流体形式存在的该物质。当丙烷、丁烷、高纯度异丁烷等以亚临界流体状态存在时,分子的扩散性能增强,传质速度加快,对天然产物中弱极性以及非极性物质的渗透性和溶解能力显著提高^[42]。

许洋等^[43]以丙烷或丁烷作为萃取剂,在压力 0.3~0.8 MPa,温度 30~50 ℃条件下进行萃取,得到磷脂含量为(37.7%~39.8%),虾青素含量为(0.089%~0.121%)的南极磷虾油。

与超临界-CO₂萃取相比,亚临界萃取技术设备投入相对较低。但以此法提取南极磷虾油的研究目前仍较少,工艺条件需进一步完善。

2 以鲜虾为原料的提取方法

由于鱼和虾等水生动物的脂质大多集中在内脏和结缔组织中,大部分的脂质与蛋白质相结合,如果在提取磷虾油前先将南极磷虾用加热、酶解等方式处理,可以使脂质与蛋白质分离,从而提高南极磷虾油的提取率。因此,以鲜虾为原料的南极磷虾油提取工艺宜先将南极磷虾进行加热^[44]、酶解等处理。

南极磷虾原料经处理后,再结合有机溶剂提取或压榨、离心等方式提取南极磷虾油。

2.1 酶解法结合有机溶剂提取

酶解法原理为利用蛋白酶使蛋白质水解,从而释放磷虾油。南极磷虾因其蛋白酶活性极强,有自溶的特点,所以可以利用南极磷虾自溶酶再结合外源酶对其酶解,这样可以减少外源酶的用量。这种利用南极磷虾自溶酶进行酶解的方法,特别适合在捕捞船上捕捞鲜活南极磷虾后及时操作。朱蓓薇等^[45]利用自溶酶和碱性蛋白酶分三步进行酶解,酶解液再用 1~3 倍正己烷进行提取,得到南极磷虾油。董寰^[46]在船上将捕捞的南极磷虾粉碎后,直接加入中性蛋白酶或碱性蛋白酶进行酶解,酶解液加热至 70~90 ℃后分层,沉淀物经离心后获得富含磷脂层,

磷脂层经低温干燥或冷冻干燥后,再用乙醇提取,得到磷脂含量大于 40%的南极磷虾油。

在陆地上冷冻南极磷虾解冻后的酶解过程,更依赖于外源性蛋白酶。周长平等^[47]将解冻、粉碎后南极磷虾先后加入碱性蛋白酶和中性蛋白酶进行酶解,酶解液加入石油醚萃取,获得南极磷虾油;并研究了酶解时 pH、温度、时间等条件对南极磷虾油提取率的影响,在最佳条件下其最大提取率为 64.52%。徐晓斌等^[48-49]采用复合蛋白酶进行酶解,并认为在用石油醚萃取前在酶解液中加入乙醇可以提高南极磷虾油的提取率,在最佳提取条件下其提取率为 96.02%,磷脂含量为 28.7%,虾青素含量为 152 mg/kg,磷脂经富集后含量可达 51.02%。

酶解法结合有机溶剂提取南极磷虾油,其提取率较高,但南极磷虾油中虾青素含量较低,需进一步改进方法。

2.2 压榨法

压榨法是利用机械压力将南极磷虾油从原料中分离出来。Oeistein H^[50]将南极磷虾加热至 60~70 ℃后过滤,分离为水相和固相;水相加热至 95~100 ℃或通过膜过滤分离蛋白和磷脂;固相进行挤压,挤压出的液体通过离心分离虾青素和中性油脂。Sclabos K D^[51]将南极磷虾切碎,然后用蒸汽预热至 55~60 ℃并保持 9 min,然后用蒸汽加热至 93~96 ℃后进行压榨,压榨液用 10000 r/min 的速度离心,获得磷脂含量 17.8%、水分含量 55.3%的乳液,将乳液薄膜蒸发使水分含量降至 1%获得南极磷虾油。

与酶解法相比,压榨法不需要添加有机溶剂,避免了溶剂残留问题,但一般需要离心,对设备要求较高。

以鲜虾为原料的南极磷虾油提取工艺,不需要将南极磷虾进行干燥,条件温和,降低了脂质氧化的可能性。另外所提取的磷虾油不溶性杂质含量低^[52],感官品质好。但是与南极磷虾粉相比,冷冻南极磷虾的储存和运输成本较高。

3 前景与展望

南极磷虾资源丰富,且富含蛋白质、脂类、多糖等营养成分,及生物活性肽、甲壳素、虾青素等活性物质,具有很高的综合开发利用价值。南极磷虾油是南极磷虾综合利用的重要产品,因其对人体具有多种生理功能,拥有广阔的应用前景,越来越多地受到市场关注。

目前国内南极磷虾油的提取,主要还是以南极磷虾粉为原料,且多以有机溶剂法为主。以乙醇为提取剂的一步法或连续逆流提取南极磷虾油工艺在国内已有所应用。但是乙醇能与水互溶,磷虾粉中仍含有约 10%的水分,用乙醇作提取剂时会溶解一部分水溶性的杂质如蛋白、无机盐等,使得磷虾油含有较多杂质,且较为粘稠,所以用乙醇提取的南极磷虾油需要进一步精制。普通油脂的精炼工艺会破坏南极磷虾油中的磷脂、虾青素等功能性物质,并不适用于南极磷虾油的精制。适用于南极磷虾油的精制工艺目前研究较少,主要以去除不溶性杂质、游离脂

肪酸和其他不利物质为目的。南极磷虾油的精制工艺是南极磷虾油制备工艺的重要一环,未来将是本领域的研究重点。另外,亚临界萃取法和超临界- CO_2 萃取法,拥有有机溶剂用量少、产品多元化等优势,相信在今后会有更广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 朱国平. 南极磷虾种群生物学研究进展 I—年龄、生长与死亡[J]. 水生生物学报, 2011(5): 862-868.
- [2] 孙松. 南极磷虾[J]. 世界科技研究与发展, 2002(4): 57-60.
- [3] 陈雪忠, 徐兆礼, 黄洪亮. 南极磷虾资源利用现状与中国的开发策略分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 451-458.
- [4] 黄洪亮, 陈雪忠, 冯春雷. 南极磷虾资源开发现状分析[J]. 渔业现代化, 2007(1): 48-51.
- [5] Tandy S, Chung R W, Wat E, et al. Dietary krill oil supplementation reduces hepatic steatosis, glycemia, and hypercholesterolemia in high-fat-fed mice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(19): 9339-9345.
- [6] Hals P A, Wang X, Piscitelli F, et al. The time course of erythrocyte membrane fatty acid concentrations during and after treatment of non-human primates with increasing doses of an omega-3 rich phospholipid preparation derived from krill-oil [J]. Lipids in Health and Disease, 2017, 16(1): 16.
- [7] Parolini C, Delleria F, Ganzetti G S, et al. Impact of oil and proteins derived from Antarctic krill on atherosclerosis development in apoEKO mice [J]. Atherosclerosis, 2016, 252: e95.
- [8] 刘云, 王亚恩, 李立德, 等. 南极磷虾油改善大鼠学习记忆能力研究[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 273-276.
- [9] Grimstad T, Bjørndal B, Cacabelos D, et al. Dietary supplementation of krill oil attenuates inflammation and oxidative stress in experimental ulcerative colitis in rats [J]. Scandinavian Journal of Gastroenterology, 2012, 47(1): 49-58.
- [10] Deutsch L. Evaluation of the effect of Neptune Krill Oil on chronic inflammation and arthritic symptoms [J]. Journal of the American College of Nutrition, 2007, 26(1): 39-48.
- [11] Bonaterra G A, Driscoll D, Schwarzbach H, et al. Krill oil-in-water emulsion protects against lipopolysaccharide-induced proinflammatory activation of macrophages *in vitro* [J]. Marine Drugs, 2017, 15(3): 74.
- [12] Yoshitomi B, Shigematu Y. Dry krill powder; EP1127497A1 [P]. 2001-08-29.
- [13] 聂玉晨, 张波, 赵宪勇, 等. 南极磷虾 (*Euphausia superba*) 脂肪与蛋白含量的季节变化[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(3): 1-8.
- [14] 徐洋, 姜启兴, 刘富俊, 等. 南极磷虾壳中虾油提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 199-203.
- [15] 刘建君, 赵伟, 苏学锋, 等. 虾粉生产方式对南极磷虾油品质的影响[J]. 渔业现代化, 2014, 41(6): 43-46.
- [16] 孙维维, 姜晓明, 徐杰, 等. 太平洋磷虾油提取工艺优化及与南极磷虾油品质的比较[J]. 中国油脂, 2018(1): 8-12.
- [17] 赵传凯. 南极磷虾油脂提取、分析及其对小鼠酒精性脂肪肝模型作用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [18] 王玥玮, 张斌, 温禄云, 等. 南极磷虾油提取工艺的优化[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(4): 105-107.
- [19] Xie D, Jin J, Sun J, et al. Comparison of solvents for extraction of krill oil from krill meal: Lipid yield, phospholipids content, fatty acids composition and minor components [J]. Food Chemistry, 2017, 233: 434-441.
- [20] 孙甜甜. 高品质南极磷虾油工业化生产技术研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [21] 孙甜甜, 薛长湖, 薛勇, 等. 南极磷虾脂质提取方法的比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 115-117.
- [22] 阴法文, 刘中原, 赵琪, 等. 不同原料和溶剂制备的南极磷虾油中磷脂酰胆碱和磷脂酰乙醇胺的组成分析[C]. 中国食品科学技术学会第十三届年会, 2016.
- [23] 崔秀明, 汪之和, 施文正. 南极磷虾粗虾油提取工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 126-129.
- [24] 李杰, 李富威, 顾杨娟, 等. 响应面法优化南极磷虾油提取工艺[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 230-232.
- [25] Gigliotti J C, Davenport M P, Beammer S K, et al. Extraction and characterisation of lipids from Antarctic krill (*Euphausia superba*) [J]. Food Chemistry, 2011, 125(3): 1028-1036.
- [26] Ronen L, Numa R, Ben D G, et al. Krill oil preparations with optimal mineral and metal composition, low impurities and low and stable TMA levels: CA2938097A1 [P]. 2015-08-20.
- [27] Sampalis T. Krill and/or marine extracts for prevention and/or treatment of cardiovascular diseases, arthritis, skin cancer, diabetes, premenstrual syndrome and transdermal transport: CA2449898A1 [P]. 2012-12-27.
- [28] 任宪君, 孙来娣, 张秋艳, 等. 一种从南极磷虾粉提取磷虾油联产蛋白质、甲壳素的工艺: CN201310607460 [P]. 2014-02-19.
- [29] 曹荣军, 于志鹏, 刘少芳, 等. 一种从南极磷虾中提取富含磷脂的磷虾油的方法: CN201310290669 [P]. 2013-09-25.
- [30] 王英, 崔政伟. 连续动态逆流提取的现状和发展[J]. 包装与食品机械, 2009(1): 49-53.
- [31] 徐文思. 南极磷虾油的提取及精制工艺研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
- [32] 刘少芳, 于志鹏, 杨庆利, 等. 一种低温逆流提取南极磷虾油的方法: CN201310262319.7 [P]. 2015-04-29.
- [33] 赵丹, 尹洁. 超临界流体萃取技术及其应用简介[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(15): 4772-4780.
- [34] 朱自强. 超临界流体技术: 原理和应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [35] Yamaguchi K, Murakami M, Nakano H, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of oils from Antarctic krill [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1986, 34(5): 904-907.
- [36] Breivik H. Process for production of omega-3 rich marine phospholipids from krill: CA2669847A1 [P]. 2008-05-22.
- [37] 山东科芮尔生物制品有限公司. 一种超临界二氧化碳提取南极磷虾油的方法: CN201110271776 [P]. 2012-02-22.
- [38] Bruheim I. Bioeffective krill oil compositions: US9644170B2 [P]. 2017-05-09.
- [39] 大连工业大学. 提取甘油三酯型南极磷虾油和南极磷虾

磷脂的方法:CN201410632080[P].2015-03-04.

[40] Ali - Nehari A, Chun B S. Characterization of purified phospholipids from krill (*Euphausia superba*) residues deoiled by supercritical carbon dioxide [J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2012, 29(7): 918-924.

[41] 翁婷. 超临界 CO₂ 萃取南极磷虾油及虾青素工艺研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.

[42] 祁鲲. 亚临界溶剂生物萃取技术的发展及现状[J]. 粮食与食品工业, 2012, 19(5): 5-8.

[43] 许洋, 冷凯良, 苗钧魁, 等. 从南极磷虾粉中提取高品质虾油和脱脂磷虾蛋白粉的方法: CN201110447503.X [P]. 2012-07-04.

[44] Larsen P M, Fey S J, Breuning J, et al. A method for the extraction of lipid fractions from krill: WO2007080514A2 [P]. 2007-07-19.

[45] 朱蓓薇, 周大勇, 秦磊, 等. 一种南极磷虾油的制备方法:

CN201010587615 [P]. 2012-07-11.

[46] 董寰. 一种水酶法制备富含磷脂的南极磷虾油的方法: CN201410659093 [P]. 2015-02-18.

[47] 周长平, 孙军涛, 王洪新, 等. 酶解法提取南极磷虾油的研究[J]. 中国油脂, 2013(3): 1-5.

[48] 徐晓斌, 李俊玲, 杨阳, 等. 南极磷虾油酶解法提取工艺研究[J]. 中国油脂, 2015(5): 5-8.

[49] 徐晓斌. 南极磷虾油制备工艺的建立及优化[D]. 济南: 济南大学, 2015.

[50] Oeistein H, Snorre T. A new method for making krill meal: CA2697730A1 [P]. 2009-03-05.

[51] Sclabos K D, Toro G R. Solvent-free process for obtaining phospholipids and neutral enriched krill oils using melting and evaporation: CA2967772A1 [P]. 2016-05-19.

[52] 曹文静, 惠欢庆, 沈俊涛, 等. 混合溶剂提取南极磷虾油的工艺研究[J]. 中国油脂, 2013(12): 6-9.

(上接第 273 页)

研究进展[J]. 果树学报, 2017(9): 1204-1212.

[2] 李洁. 外源 NO 和乙烯处理对番茄采后品质及乙烯合成相关基因表达的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.

[3] Li X W, Jin P, Wang J, et al. 1-Methylcyclopropene delays postharvest ripening and reduces decay in hami melon [J]. Journal of Food Quality, 2011, 34(2): 119-125.

[4] Xie X, Song J, Wang Y, et al. Ethylene synthesis, ripening capacity, and superficial scald inhibition in 1-MCP treated 'd' Anjou' pears are affected by storage temperature [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 97: 1-10.

[5] 吕静祎, 周影, 葛永红, 等. 1-MCP 和乙烯利处理对采后 '金冠' 苹果常温贮藏过程中生理变化及活性氧代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 339-344.

[6] Park Y S, Im M H, Gorinstein S. Shelf life extension and antioxidant activity of 'Hayward' kiwi fruit as a result of prestorage conditioning and 1-methylcyclopropene treatment [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(5): 2711.

[7] 李学文, 张辉, 逢焕明, 等. 1-MCP 对库尔勒香梨采后活性氧相关代谢的影响[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(11): 2167-2171.

[8] Singh R, Dwivedi U N. Effect of ethrel and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on antioxidants in mango (*Mangifera indica* var. Dashehari) during fruit ripening [J]. Food Chemistry, 2008, 111(4): 951-956.

[9] 魏敏, 周会玲, 陈小利, 等. 低温贮藏对鲜切富士苹果褐变的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5): 131-144.

[10] 高华, 鲁玉妙, 袁景军, 等. 粉红女士苹果冷藏与常温贮藏的乙烯代谢及果实品质变化[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 46-48.

[11] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学报, 1990(6): 55-57.

[12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京, 高等教育出版, 2005: 21-38.

[13] Ren Y, Wang Y, Bi Y, et al. Postharvest BTH treatment induced disease resistance and enhanced reactive oxygen species metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruit [J]. European Food Research and Technology, 2012, 234(6): 963-971.

[14] 曹建康, 姜微波. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.

[15] Zhou Y, Li S, Zeng K. Exogenous nitric oxide-induced postharvest disease resistance in citrus fruit to *Colletotrichum gloeosporioides* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(2): 505-512.

[16] 张政, 王倩, 张辉, 等. 一氧化氮间歇熏蒸对木纳格葡萄活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 249-254.

[17] 孙爱萍. 1-甲基环丙烯延缓采后甜瓜果实衰老的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009.

[18] 敬媛媛, 吴斌, 李艳娇, 等. 一氧化氮处理对甜瓜果实采后病害的控制及活性氧代谢的作用[J]. 现代食品科技, 2016(12): 186-190.

[19] 赵晓敏, 杨静, 李学文, 等. 1-MCP 常温处理对库尔勒香梨活性氧相关代谢的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(9): 219-223.

[20] 王静, 茅林春, 李学文, 等. 热处理降低哈密瓜果实活性氧代谢减轻冷害[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 280-286.

[21] 李汉良. 1-MCP 对大果水晶梨软化与褐变的影响[J]. 现代农业科技, 2011(15): 368-369.

[22] 郭艳萍. 乙烯对 MA 贮藏桃果实品质及相关生理机制的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.

[23] 侯媛媛, 朱璇, 王英, 等. 水杨酸处理对杏果实冷害及活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 195-199.

[24] 李梅, 王贵禧, 梁丽松, 等. 1-甲基环丙烯处理对西洋梨常温贮藏的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 345-350.

[25] 史国安, 郭香凤, 张益民, 等. GA₃ 和乙烯利对杏果实采后活性氧代谢的影响[J]. 园艺学报, 1997(1): 87-88.