

制备方法对南极磷虾油品质的影响

刘志东¹, 陈雪忠¹, 李斌², 曲映红³, 汪一红¹, 屈泰春¹, 宋学峰¹, 黄洪亮¹

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090) (2. 波顿(上海)香料科技有限公司, 上海 201201)

(3. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 南极磷虾油因其独特的组分特征和良好的营养和功能特性受到广泛的关注。为了解不同制备方法对南极磷虾油品质特性的影响, 论文采用有机溶剂直接提取法(SE)、超临界 CO₂ 萃取法(SFE)和压榨法(TPE)等方法提取南极磷虾油, 利用油脂评价指标(酸价、过氧化值和碘价等)分析、比较提取南极磷虾油的品质特征。结果表明: 采用 SFE、TPE 和 SE 法提取南极磷虾油的得率分别为 9.02×10^{-2} 、 $(9.05 \times 10^{-2}, 3.98 \times 10^{-2})$ 和 $(14.33 \times 10^{-2}, 12.43 \times 10^{-2}$ 和 $9.14 \times 10^{-2})$ g/g。有机溶剂直接提取法(乙醇)制备南极磷虾油的过氧化值, 碘值和皂化值优于其他两种方法制备的南极磷虾油。SFE 法制备的南极磷虾油磷脂含量高于其他两种方法制备的南极磷虾油。研究结果将为不同制备方法对南极磷虾油品质特性的控制及保持提供理论依据。

关键词: 南极磷虾油; 制备方法; 品质

文章编号: 1673-9078(2017)1-191-196

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.1.030

Effect of Extraction Methods on Quality of Antarctic krill (*Euphausia superba*) Oil

LIU Zhi-dong¹, CHEN Xue-zhong¹, LI Bin², QU Ying-hong³, WANG Yi-hong¹, QU Tai-chun¹, SONG Xue-feng¹, HUANG Hong-liang¹

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

(2. Boton (Shanghai) Flavors and Fragrances Ltd., Co. Shanghai 201201, China)

(3. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Antarctic krill oil has received widespread attention owing to its unique composition and beneficially nutritional and functional properties. The processing quality (peroxide value, acid value, and iodine value) and physicochemical quality (fatty acid composition, vitamin E, and astaxanthin content) of solvent-extracted (SE), twin-pressing-extracted (TPE), and supercritical fluid-extracted (SFE) Antarctic krill oil were evaluated and compared. The oil yield obtained by SFE, TPE (heat-treated, non-heat treated), and SE (chloroform/methanol, ethanol, hexane) approaches was 9.02×10^{-2} , $(9.05 \times 10^{-2}, 3.98 \times 10^{-2})$, and $(14.33 \times 10^{-2}, 12.43 \times 10^{-2}$ and $9.14 \times 10^{-2})$ g/g, respectively. The peroxide, iodine, and saponification values of SE (ethanol) Antarctic krill oil were superior to those of the other five types tested. The phospholipid content of SFE Antarctic krill oil was superior to that of the other five types. These results provide a basis for the control and preservation of the quality characteristics of Antarctic krill oil extracted using different methods.

Key words: Antarctic krill oil; extraction method; quality

南极磷虾(*Euphausia Superba*)是一种生活在南极海域的小型浮游海洋生物, 生物资源量巨大, 尚未充

收稿日期: 2016-01-15

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(2011M06); 农业部渔业装备与工程技术重点实验室开放课题基金项目(2012002); 国家“863”计划(2012AA092304); 中国水产科学研究院基本科研业务费重点项目(2016HY-ZD0903); 南极海洋生物资源开发利用专项(2015)

作者简介: 刘志东(1976-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事水产品加工与产物资源利用研究

通讯作者: 黄洪亮(1964-), 男, 研究员, 主要从事远洋与极地渔业资源开发利用研究

分开发利用。南极海域独特的生境赋予了南极磷虾脂质组分结构的新颖性和功能的独特性。研究表明, 南极磷虾脂质具有预防和缓解心脑血管疾病、抗肿瘤和提高免疫力等功效。南极磷虾脂质含量约为 2~6%, 其中 EPA 和 DHA 主要与磷脂相连, 较高的磷脂含量(约 40%)形成了南极磷虾脂质迥异于其他来源脂质的特殊营养和功能特性^[1]。

目前, 关于南极磷虾脂质的研究主要集中于南极磷虾油提取方法的探索、提取工艺的优化以及营养和功能特性评价等方面^[2-5]。国内外南极磷虾油规模化提取的方法主要包括有机溶剂直接提取法, 超临界 CO₂

萃取法, 超声波辅助提取法等。有机溶剂直接提取法虽然可以实现南极磷虾油的规模化制备, 提取率较高, 但存在溶剂消耗量大和溶剂残留等问题^[4]。超临界 CO₂ 萃取法具有油脂提取率高, 活性物质保存率高的优点; 但规模化生产采用超临界 CO₂ 萃取法存在前期成本较高的问题^[6]。低温压榨法与热加工法相比能够避免因物料过度加热而产生的不良影响, 能耗和成本较低, 成品油和饼粕的品质较高。关于不同制备方法对南极磷虾油得率的影响研究已经开展并公开报道, 但关于不同制备方法对南极磷虾油品质特性的影响尚鲜见报道。基于南极磷虾油提取技术, 产品品质和规模化生产的考虑, 本文比较了有机溶剂直接提取法、超临界 CO₂ 萃取法和压榨法等方法制得的南极磷虾油的品质特性, 期望为南极磷虾油的加工技术、规模化制备及品质控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

南极磷虾由上海开创国际海洋资源股份有限公司开裕号远洋捕捞船于2014年3月在南极设得兰群岛附近海域捕获, 并冷冻(-18 ℃)保存运回国内。

1.1.2 试剂

脂肪酸标准品(美国 Sigma 公司); 甲醇和乙腈(美国 Merk 公司, 色谱纯); 正己烷、石油醚、无水乙醇、三氯甲烷、甲醇、冰乙酸、硫代硫酸钠、碘化钾、硫酸、氢氧化钾、乙醚、无水硫酸钠、氢氧化钾、浓硝酸和高氯酸等(国药集团化学试剂有限公司)均为分析纯。

1.2 仪器与设备

匀浆机: 美国 PRO 公司; 电子天平: 德国赛多利斯公司; RE-3000A 型旋转蒸发器: 上海亚荣生化仪器公司; 721 型分光光度计: 上海精密科学仪器有限公司; 鼓风干燥箱: 上海精宏实验设备有限公司; 5890 型气相色谱仪: 美国 Agilent 公司; 双螺杆挤压机: 中国水产科学研究院东海水产研究所; Spe-ed SFE-2 超临界萃取仪: 美国 ASI 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 南极磷虾油的制备方法

1.3.1.1 有机溶剂直接提取法

称取干燥、粉碎的南极磷虾置于匀浆机, 按 1:6 (m/V) 料液比分别加入氯仿/甲醇 (2:1, V/V)、无水乙

醇和正己烷于室温 (25 ℃) 搅拌浸提。过滤后用少量提取溶剂冲洗滤渣, 合并滤液。采用无水乙醇和正己烷提取的滤液真空旋转蒸发, 温度为 40 ℃。采用氯仿/甲醇法提取的滤液中要加入 10% 氯化钠溶液, 振荡摇匀后静置过夜, 溶液分层明显, 收集下层氯仿层, 通过无水硫酸钠脱水后移至旋蒸瓶, 于 40 ℃ 下真空旋转蒸发^[2]。

1.3.1.2 超临界 CO₂ 萃取法

称取干燥、粉碎的南极磷虾置于超临界 CO₂ 萃取釜, 采用 35.0 MPa 的压力, 45 ℃ 的萃取温度, 萃取 2.5 h, CO₂ 流量为 25.0 L/h, 极性夹带剂萃取。收集分离器中得到的液体, 过滤除去杂质后滤液于 45 ℃ 真空旋转蒸发。

1.3.1.3 压榨法

冷冻南极磷虾解冻(室温)→分散→测定脂质含量及脂肪酸组成→未经热处理/热处理(95 ℃, 5 min)→双螺杆挤压→收集固体部分→采用无水乙醇提取脂质^[7]。

1.3.2 南极磷虾油理化特性的测定

水分含量测定采用 105 ℃ 烘干恒重法(GB/T 5009.3-2003), 蛋白质含量测定采用微量凯氏定氮法(GB/T 5009.5-2003), 脂肪含量测定采用索氏抽提法(GB/T 5009.6-2003), 灰分含量测定采用灼烧法(GB/T 5009.4-2003), 脂肪酸含量测定采用气相色谱法(GB/T 17377-2008), 生育酚及生育三烯酚含量测定(GB/T 26635-2011), 酸价(GB/T 5530-2005), 过氧化值(GB/T 5538-2005), 碘值(GB/T 5532-2008), 皂化值(GB/T 5534-2008), 色泽(GB/T 5492-2008)^[8]。

1.3.3 制备方法对维生素 E 和虾青素含量的影响

维生素 E 含量的测定参考(AOCS Official method Ce 8-89, 1998)方法。样品 (0.05 g) 溶于 10 mL 庚烷溶液, 提取物采用 HPLC-FLD, 4.6×150 mm 硅胶柱分析; 流动相为庚烷: 异丙醇 (100:0.4), 流速为 1 mL/min; 生育酚的检测采用荧光检测, 激发光波长为 290 nm, 发射光波长为 330 nm; 虾青素含量测定参考 F.S.H. Lu 等方法^[9]。

1.3.4 南极磷虾油的脂肪酸含量测定

脂肪酸甲酯化: 准确称取 50.0 mg 样品置于厌氧管, 加入 2.0 mL 硫酸-甲醇溶液, 振荡混匀, 置于 70 ℃ 水浴加热 1.0 h, 期间每隔 20.0 min 振荡 1 次; 水浴完成取出厌氧管, 冷却后向其中加入 2.0 mL 色谱纯正己烷, 混匀, 加蒸馏水至水与厌氧管瓶颈齐平; 待分层完全吸取上层正己烷相并将其通过无水硫酸钠, 所得溶液用于气相色谱分析。

气相色谱分析条件: 色谱柱型号为 SP-2560 (100

m×0.25 mm, 膜厚 0.20 m); 进样体积 1.0 L, 进样口温度 260 °C, 压力 210.1 kPa, 分流比 5:1, 载气: 高纯氮气, 0.9 mL/min; 采用程序升温, 起始温度 130 °C, 以 4 °C/min 升至 240 °C, 保持此温度 20 min; FID 检测器, 285 °C, 载气: H₂ 和空气流速分别为 40.0 和 400.0 mL/min。

分析方法: 定性: 根据脂肪酸组分的保留时间, 通过质谱工作站检索 NIST 标准质谱库和 WILEY 质谱库分析; 定量: 根据峰面积归一化法分析^[10]。

1.4 数据处理与分析

实验数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析; 采用 Levene's 法进行齐性方差检验, 当不满足齐性方差时, 对实验数据进行反正弦或者平方根转换, 采用

Duncan's 法进行多重比较, 采用双尾 t-检验 (Independent samplest-test) 分析数据的差异显著性。实验结果采用平均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 制备方法对南极磷虾油得率的影响

研究表明, 南极磷虾脂质的含量和组成主要取决于南极磷虾捕获的时间、区域、生长阶段和环境以及加工处理和贮存方式等^[1]。目前, 南极磷虾脂质的提取方法主要包括有机溶剂直接提取法、生物法、微波法和超临界 CO₂ 萃取法等。其中氯仿/甲醇法作为脂质提取和含量测定的标准方法, 其结果可以作为脂质提取和分析的基础数据。

表 1 制备方法对南极磷虾油得率的影响

Table 1 Effect of different extraction methods on yield of Antarctic krill oil

	氯仿/甲醇法	无水乙醇法	正己烷法	超临界 CO ₂ 法	压榨法(热处理)	压榨法(非热处理)
得率/%	14.33±0.17 ^{a*}	12.43±0.25 ^b	9.14±0.13 ^c	9.02±0.15 ^{c*}	9.05±0.18 ^c	3.98±0.21 ^{d*}

由表 1 可以看出, 有机溶剂直接提取法中氯仿/甲醇法提取获得的南极磷虾脂质含量最高, 乙醇法高于正己烷法。根据“相似相溶”原理, 乙醇作为极性有机溶剂对极性脂质的得率较高, 正己烷作为非极性有机溶剂对非极性脂质(甘油三酯和胆固醇等)的得率较高, 而氯仿/甲醇法对极性脂质和中性脂质的得率均较高。由于南极磷虾脂质中磷脂型脂质含量较高, 因此, 正己烷法的南极磷虾脂质得率低于乙醇法。但是氯仿和甲醇对人体有害。所以, 氯仿/甲醇法通常只是作为实验室脂质提取的一种基础方法, 不能作为工业化生产的方法。乙醇法提取南极磷虾脂质具有较高的得率, 较适合规模化生产, 可以与其他方法相结合开展深入研究。超临界 CO₂ 萃取法作为一种较温和的脂质提取手段, 产品品质较好; 但是超临界萃取设备比较昂贵, 前期成本投入较高以及对于安装场所和条件具有更严苛的要求。此外, 南极磷虾油具有较高含量的不饱和脂肪酸, 其在 CO₂ 中具有比其他油脂更低的溶解性。因此, 采用超临界 CO₂ 萃取法提取南极磷虾油的得率低于传统提取方法的得率^[11]。由于南极磷虾独特的生物学特性和加工场所的特殊性, 限制了有机溶剂直接提取法和超临界 CO₂ 法在南极磷虾船载加工方面的应用, 但也为探索其他方法(如双螺杆挤压技术)及与现有脂质提取方法相结合用于南极磷虾船载/陆基加工提供了新的机会(见表 1)。

由于原料前处理条件的不同和提取方法的差异影响了南极磷虾油的得率, 尽管通过优化南极磷虾油提取的条件增加了总油脂的得率, 但对其品质的影响尚

较少涉及。因此, 与南极磷虾油的得率相比, 本文更加关注制备方法对南极磷虾油品质的影响。超临界 CO₂ 萃取法较其他方法的优势在于其可能提取获得更高含量的生物活性物质^[10,11]。总体而言, 有机溶剂直接提取法的南极磷虾油得率高于压榨法(非热处理/热处理)和超临界 CO₂ 萃取法的得率。然而, 有机溶剂直接提取法的南极磷虾油因可能存在溶剂残留问题在一定程度上限制了其应用领域^[12,13]。

2.2 制备方法对南极磷虾油理化特性的影响

虽然, 先前相关文献报道了一些制备方法对南极磷虾油理化特性的影响, 但是较系统的比较不同制备方法(特别是压榨法)对南极磷虾油产品特性影响的研究尚较少。由表 2 可知, 超临界 CO₂ 萃取法提取的南极磷虾油酸价最高, 压榨法(热处理)次之, 压榨法(非热处理)高于有机溶剂提取法, 这是因为超临界 CO₂ 萃取法具有较强的溶解游离脂肪酸的能力。压榨法(热处理)制备南极磷虾油的过氧化值>超临界 CO₂ 萃取法>压榨法(非热处理), 可能是因为压榨过程中对原料进行了加热处理, 加热温度在 95 °C 左右, 导致油脂发生氧化、聚合和分解产生新的产物^[6]。此外, 南极磷虾油中抗氧化物质(如虾青素和维生素 E 等)的流失也会引起过氧化值和酸值的升高。超临界 CO₂ 萃取法的碘值最高, 压榨法(热处理)次之, 氯仿/甲醇法的皂化值大于压榨法(热处理)。由于多不饱和脂肪酸含量高的油脂易于发生氧化反应, 南极磷虾油提取过程的受热程度也会影响油脂的氧化稳定性

[9]。因此,在传统脂质品质评价方法的基础上,采用先进的色谱技术评估降解产物也将会成为今后一个新的研究方向。由表 3 可以看出,有机溶剂直接提取法和超临界 CO₂ 萃取法提取的南极磷虾油颜色为深红色。可能是因为南极磷虾油在有机溶剂和超临界状态

CO₂ 环境的萃取能力较强,其中的色素类物质萃取出较多。未经加热处理南极磷虾油的色泽较经过加热处理南极磷虾油的色泽略浅。可能是由于未经加热处理南极磷虾挤压过程中虾青素等物质流失所致^[8,12]。

表 2 制备方法对南极磷虾油理化特性的影响

Table 2 Effect of different extraction methods on physicochemical characteristics of Antarctic krill oil

指标	氯仿/甲醇法	无水乙醇法	正己烷法	超临界 CO ₂ 法	压榨法(热处理)	压榨法(非热处理)
酸价/(mg KOH/g)	5.67±0.13 ^{c,*}	4.62±0.16 ^d	4.94±0.16 ^d	9.57±0.14 ^{a,*}	8.41±0.21 ^{b,*}	6.12±0.23 ^c
过氧化值/(mmol/kg)	4.16±0.24 ^c	4.27±0.25 ^c	4.36±0.13 ^c	5.85±0.18 ^a	6.23±0.25 ^{a,*}	4.86±0.23 ^b
碘值(×10 ⁻² g I ₂ /g)	148.35±0.28 ^b	129.34±0.27 ^{d,*}	139.42±0.31 ^c	165.32±0.41 ^{a,*}	152.65±0.26 ^b	142.65±0.33 ^{bc}
皂化值/(mg/g KOH)	267.35±0.27 ^{a,*}	232.49±0.19 ^{cd}	249.54±0.43 ^{bc}	241.23±0.26 ^c	258.65±0.29 ^{ab}	225.45±0.32 ^{d,*}
磷脂/%	32.25±1.47 ^b	34.37±1.48 ^a	25.18±2.21 ^c	38.67±1.32 ^a	28.55±1.37 ^{b,*}	37.32±1.74 ^{a,*}
色泽	深红	深红	红色	深红	深红	红色

注:平均值±标准差;不同的字母表示组间有显著性差异($p<0.05$)。

2.3 制备方法对南极磷虾油维生素 E 和虾青素酯含量的影响

研究发现,南极磷虾油中的 VE 主要由 α -生育酚组成,其次是 δ -生育酚。由表 3 可以看出,不同制备方法对南极磷虾油的 VE 含量有较大的影响,超临界

CO₂ 萃取法提取的南极磷虾油 VE 含量最高,压榨法(热处理)制备南极磷虾油的 VE 含量最低^[7]。研究发现,南极磷虾油中虾青素的减少可能是为了保护生育酚并防止/减缓南极磷虾油的脂质氧化。因此,虾青素被认为是南极磷虾和南极磷虾油的良好抗氧化剂。然而,研究也发现,温度的增加也能引起虾青素含量的降低,因为虾青素在高温时不稳定^[9]。

表 3 制备方法对南极磷虾油中虾青素和 VE 含量的影响

Table 3 Effect of different extraction methods on the content of vitamin E and astaxanthin of Antarctic krill oil

指标	氯仿/甲醇法	无水乙醇法	正己烷法	超临界 CO ₂ 法	压榨法(热处理)	压榨法(非热处理)
虾青素/(μ g/g)	261.08±2.33 ^{a,*}	241.37±3.24 ^c	260.23±1.72 ^b	221.94±1.65 ^{c,*}	234.72±2.42 ^d	244.74±1.45 ^{c,*}
V _E /(μ g/g)	720.15±1.49 ^b	701.42±2.36 ^c	729.35±2.31 ^b	755.31±3.67 ^{a,*}	684.29±3.45 ^{d,*}	705.28±2.26 ^{c,*}

注:平均值±标准差;不同的字母表示组间有显著性差异($p<0.05$)。

2.4 制备方法对南极磷虾油脂肪酸组成的影响

南极磷虾的脂质含量和组成主要取决于南极磷虾捕获的季节、海域、性成熟、贮运方式和时间等,南极磷虾捕获后的单元处理或过程加工也会影响南极磷虾及其产品的脂质含量和组成^[1]。由表 4 可以看出,不同制备方法获得南极磷虾油的脂肪酸组成和含量有所不同,原因是南极磷虾受预处理和提取条件的影响,特别是南极磷虾脂质基于不同提取体系和条件的提取机制不同,导致了提取获得的南极磷虾油的脂质的组成和含量不同,进而影响了南极磷虾油的脂肪酸组成和含量。不同南极磷虾油中都能检出的脂肪酸 20 种,其中饱和脂肪酸(SFA)7 种,单不饱和脂肪酸(MUFA)6 种,多不饱和脂肪酸(PUFA)7 种。六种南极磷虾油中,SFA 中含量较高的为 C16:0, C14:0 和 C18:0;

MUFA 中含量较高的为 C18:1, C16:1 和 C20:1; PUFA 中含量较高的为 EPA (C20:5n-3), DHA (C22:6n-3) C18:2n-6 和 C18:3n-3。采用超临界 CO₂ 萃取法和有机溶剂直接提取法以相同原料制备的南极磷虾油中 SFA, MUFA, PUFA 在总量上存在差异;超临界 CO₂ 法萃取南极磷虾油中脂肪酸种类略多于有机溶剂法, MUFA 总量低于有机溶剂法,而 PUFA 总量高于有机溶剂法。本研究中所用的南极磷虾是在南极海域捕获后,冷冻保存,运回国内。经过较长时间的保存,在低温酶、氧气等综合作用,南极磷虾体内的部分不饱和脂肪酸转化成饱和脂肪酸。这也导致了本实验所用原料提取获得南极磷虾油的饱和脂肪酸的含量高于新鲜南极磷虾中的饱和脂肪酸含量。压榨法(热处理/非热处理)制备南极磷虾油的脂肪酸含量和种类也存在着差异。原因可能是由于挤压过程中,南极磷虾中的部分脂肪酸发生了转变或者由于进入液体部分导致固体部分脂肪酸的含量发生改变。此外,南极磷虾脂

质中的极性脂质通过吸收挤压的“浓缩”作用以及“内摩擦”的作用,导致部分不饱和脂肪酸转化为饱和脂肪酸。采用压榨法(热处理/非热处理)加工南极磷虾提

出了一种不同于传统南极磷虾油制备的技术路线,也为“低温”南极磷虾粉的开发和优质南极磷虾油的制备提供了新途径。

表4 制备方法对南极磷虾油脂肪酸组成的影响

Table 4 Fatty acid composition of Antarctic krill oil extracted by different methods

脂肪酸	氯仿/甲醇法	无水乙醇法	正己烷法	超临界 CO ₂ 法	压榨法(热处理)	压榨法(非热处理)
C12:0	0.15	-	0.21	0.12	0.37	0.32
C14:0	15.45	12.20	10.70	16.48	18.07	15.32
C15:0	0.48	-	-	0.52	0.57	0.54
C16:0	25.13	19.97	21.35	23.56	25.10	25.62
C17:0	0.35	2.28	2.44	0.41	2.42	1.57
C18:0	4.37	8.49	6.82	2.56	3.64	4.41
C20:0	0.27	3.82	3.67	0.26	0.62	0.50
ΣSFA	46.20	46.76	45.19	43.91	50.79	48.28
C14:1	0.58	-	-	0.32	0.40	0.59
C16:1	9.70	7.36	8.40	8.65	6.70	6.06
C17:1	0.81	-	-	-	0.99	0.79
C18:1n9c	23.22	28.96	29.94	24.41	25.32	26.62
C20:1n9	1.72	1.45	1.08	1.02	1.60	1.40
C22:1n9	0.56	-	-	0.48	0.94	0.98
ΣMUFA	36.59	37.77	39.42	34.88	35.90	36.44
C18:2n6c	1.38	1.53	1.65	1.67	2.87	2.54
C18:3n6	0.67	0.90	0.78	0.98	0.16	0.12
C20:2	-	-	-	-	0.50	1.10
C20:3n3	1.03	-	-	-	-	-
C20:4n6	0.49	0.68	0.46	0.93	0.34	0.42
C20:5n3 (EPA)	10.08	9.88	8.96	12.58	7.05	6.65
C22:6n3 (DHA)	3.56	3.98	3.54	5.05	4.39	4.45
Σω3PUF A	14.67	13.86	13.00	17.63	11.94	12.20
Σω6PUF A	2.54	3.11	2.89	2.50	3.37	3.08
ω3/ω6	5.78	4.46	4.50	7.05	3.54	3.96
ΣPUFA	17.21	16.97	15.49	21.21	15.31	15.28

注: ΣSFA 表示饱和脂肪酸总量; ΣMUFA 表示单不饱和脂肪酸总量; ΣPUFA 表示多不饱和脂肪酸总量;“-”表示该物质未检测出。

3 结论

由于南极磷虾的捕获海域、时间,保存及加工方式等原因,南极磷虾产品品质之间可能存在一定的差异。结果表明,不同制备方法对南极磷虾油品质特性(酸价、碘值、皂化值和过氧化值等)的影响较大。目前关于南极磷虾油加工及贮藏期间的降解产物,特

别是标志物的确定及其形成机理仍不清楚,还需要深入探索加工和贮藏方法对南极磷虾油品质的影响机制。期望通过相关研究,基于南极磷虾油产品品质特性的角度,切实提高我国南极磷虾油的加工水平和品质控制能力。

参考文献

- [1] 刘志东,陈雪忠,陈勇,等.南极磷虾脂质的研究进展[J].现代食品科技,2015,31(8):348-355
LIU Zhi-dong, CHEN Xue-zhong, CHEN Yong, et al. Advances in research on the lipids from *Antarctic krill* (*Euphausia superba*) [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(8):348-355
- [2] 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):115-121
SUN Tian-tian, XUE Chang-hu, XUE Yong, et al. Comparisons of the *Antarctic krill* lipid extraction methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(16): 115-121
- [3] Yin H, Solval K, Huang J, et al. Effects of oil extraction methods on physical and chemical properties of red salmon oils (*Oncorhynchus nerka*) [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2011, 88(10): 1641-1648
- [4] 刘志东,陈雪忠,曲映红,等.南极冰鱼与南极磷虾营养成分分析及比较[J].现代食品科技,2014,30(2):228-233
LIU Zhi-dong, CHEN Xue-zhong, QU Ying-hong, et al. Comparison and evaluation of the nutritional components of antarctic icefish and krill [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(2): 228-233
- [5] Ibraheem A A, Kelly H. A review of lipid extraction from fish processing by-product for use as a biofuel [J]. Biomass and Bioenergy, 2014, 63: 330-340
- [6] Joseph C G, Matthew P D, Sarah K B, et al. Extraction and characterisation of lipids from *Antarctic krill* (*Euphausia superba*) [J]. Food Chemistry, 2011, 125: 1028-1036
- [7] 董海胜,臧鹏,孙京超,等.不同提取方式茶叶籽油脂脂肪酸及VE组成分析与比较[J].中国油脂,2012,37(4):11-14
DONG Hai-sheng, ZANG Peng, SUN Jing-chao, et al. Comparison of the fatty acid composition and vitamin E of tea seed oil prepared by different extraction methods [J]. China oils and fats, 2012, 37(4): 11-14
- [8] 杨辉,赵曼丽,范亚苇,等.不同提取方法所得茶油的品质比较[J].食品工业科技,2012,33(11):267-274
YANG Hui, ZHAO Man-li, FAN Ya-wei, et al. Comparing quality of camellia oil extracted by different methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(11): 267-274
- [9] Lu F S H, Bruheim I, Haugsgjerd B O, et al. Effect of temperature towards lipid oxidation and non-enzymatic browning reactions in krill oil upon storage [J]. Food Chemistry, 2014, 157(26): 398-407
- [10] Khattab R Y, Mohammad A Z. Quality evaluation of flaxseed oil obtained by different extraction techniques [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 338-345
- [11] 蔡达,刘红芝,刘丽,等.不同工艺制备杏仁油品质比较及相关性分析[J].中国粮油学报,2014,29(2):47-52
CAI Da, LIU Hong-zhi, LIU Li, et al. Quality comparison of almond oil extracted with different processes and correlation analysis of quality indexes [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(2): 47-52
- [12] Cheng C, Du T, Pi H, et al. Comparative study of lipid extraction from microalgae by organic solvent and supercritical CO₂ [J]. Bioresource Technology, 2011, 102(21): 10151-10153

(上接第 220 页)

- [13] Li Y, Zhang F F, Liang X M, et al. Chemical and toxicological evaluation of an emerging pollutant (enrofloxacin) by catalytic wet air oxidation and ozonation in aqueous solution [J]. Chemosphere, 2013, 90(2): 284-291
- [14] Sturini M, Speltini A, Maraschi F, et al. Sunlight-induced degradation of soil-adsorbed veterinary antimicrobials marbofloxacin and enrofloxacin [J]. Chemosphere, 2012, 86(2): 130-137