

南极磷虾粉成分分析及营养学评价

Valuable components analysis and nutritional evaluation on antarctic krill (*Euphausia superba*) meals

全沁果¹ 段伟文¹ 曾雪鸽¹ 陈 铭¹

QUAN Qin-guo¹ DUAN Wei-wen¹ ZENG Xue-ge¹ CHEN Ming¹

张泽伟¹ 郝记明^{1,2,3,4} 刘书成^{1,2,3,4} 吉宏武^{1,2,3,4}

ZHANG Ze-wei¹ HAO Ji-ming^{1,2,3,4} LIU Shu-cheng^{1,2,3,4} JI Hong-wu^{1,2,3,4}

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东省水产品加工与安全重点实验室,

广东 湛江 524088; 3. 广东省海洋食品工程技术研究中心, 广东 湛江 524088;

4. 广东普通高等学校水产品深加工重点实验室, 广东 湛江 524088)

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 3. Guangdong Marine Food Engineering and Technology Research Center, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; 4. Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang, Guangdong 524088, China)

摘要:为促进南极磷虾粉蛋白源成分的可食化加工与副产物利用,测定了南极磷虾粉中蛋白质、油脂、甲壳素和矿质元素四类主要成分的含量,并从营养学角度分析了氨基酸、脂肪酸和矿质元素的组成,最后以过筛、脱脂制得蛋白质加工基料。结果显示,南极磷虾粉含蛋白质 61.38%、油脂 14.49%、甲壳素 6.08%、矿质元素 6.27%。营养学分析表明,氨基酸总量为 47.34%,必需氨基酸含量为 38.74%,必需氨基酸/非必需氨基酸值为 70.24%,符合 FAO/WHO 认可的优质蛋白质源,且功能性氨基酸含量突出;油脂中不饱和脂肪酸含量为 61.98%,其中多不饱和脂肪酸含量为 25.10%,EPA+DPA+DHA 的含量为 18.19%,具有进一步开发的价值;南极磷虾粉矿质元素含量丰富、组成均衡,且重金属污染水平低。经 30 目过筛和正己烷-乙醇(体积比 9:1)脱脂处理后,粉基中蛋白质含量达到 73.80%,综合指标符合南极磷虾粉推荐标准,超过了特级鱼粉的评价标准,并使体系中的氟含量减少约 10%。

关键词: 南极磷虾粉;成分;营养学评价;蛋白质加工基料

Abstract: Key components of Antarctic Krill meals were analyzed such as protein, lipids, minerals and chitin content. Composition and

content of amino acids, fatty acids and mineral element were also researched using nutritional assessment strategies in this paper. Finally, the protein processing base material was prepared by two steps include sieving and defatting. The results showed that the content of protein was 61.38%, lipids was 14.49%, chitin was 6.08% and mineral element was 6.27%. Protein of Antarctic Krill meals was a high quality protein referenced by FAO/WHO based on the total amino acid content of 47.34%, essential amino acid content of 38.74% and essential amino acids to non-essential amino acids ratio of 70.24%. Moreover, the functional amino acids content were also abundant. Lipids of Antarctic krill meal was found exploitable by polyunsaturated fatty acids content of 61.98%, polyunsaturated fatty acids content of 25.10% and EPA+DPA+DHA content of 18.19%. The functional minerals (K, Na, Mg, Ca, P, Fe, Cu, Zn, Sn) were found rich content and balanced composition in Antarctic krill, and the levels of heavy metal pollution (Cr, As, Cd) were extremely low simultaneously. The content of protein-peptides in processing base material is 70.91% by 30 mesh screening and degreasing with n-hexane-ethanol (9:1), Which reached the quality standards of Antarctic krill meals, exceeded the evaluation criteria of special grade fishmeal and reduced 10% fluorine content of the system. The above results provided basic information and theoretical reference for protein production and byproducts utilization of Antarctic Krill meals.

Keywords: antarctic krill meals; components; nutritional evaluation; protein processing base material

基金项目: 国家虾蟹产业技术体系建设专项(编号: CARS-48)

作者简介: 全沁果,男,广东海洋大学在读硕士研究生。

通信作者: 吉宏武(1962—),男,广东海洋大学教授,博士生导师,博士。E-mail: jihw62318@163.com

收稿日期: 2018-05-23

南极磷虾是国内外远洋渔业的重点开发对象,其生物储量巨大,约为 $1.0 \times 10^9 \sim 3.0 \times 10^9$ t,环绕分布于南极海域^[1-2]。蛋白源成分、油脂、矿质元素、内源酶类、甲壳素集成了南极磷虾高值化利用的主要方向^[3]。由于南极磷虾生活在极寒带水域,在该环境的胁迫与自身忍耐下进化出了丰度很高的抗冻性内源酶系统^[4],为此南极磷虾经远洋捕捞上船后或制成冷冻虾砖于 -40 °C 以下船载冷冻保存,或经船载热蒸汽加工、粉碎成全粉密封保存。相对于冷冻虾砖,南极磷虾粉具有流通成本低、储存方便的优点,受到了水产品加工企业的更多重视。

目前,国内外围绕南极磷虾粉的开发与利用开展了一些研究工作。大部分的报道^[5-7]是将南极磷虾粉简单加工成水产饲料,应用前景虽好,但附加值较低。而对南极磷虾粉的进一步利用仍停留在分析该粉基成分以及研究储藏方式对其品质的影响^[8],缺乏对南极磷虾粉系统的可食性营养学评价。南极磷虾粉的船载加工包含了蒸煮、脱水和蒸汽烘干3个热处理步骤,其内源酶已变性失活,因此其主要成分分析只需考虑蛋白源成分、油脂、甲壳素和矿质元素四类。但南极磷虾在船载制粉过程中虾壳中氟可能会发生迁移^[9],从而使虾肉中氟残留量升高,是制约南极磷虾粉高值化利用的主要因素。南极磷虾被证实为高品质蛋白质源,受到了国内外学者的重视,相关提取工艺已比较成熟^[10-11]。相比新鲜南极磷虾,南极磷虾粉蛋白质在船载加工过程中发生了热变性,其特性发生了改变,故以往报道的技术路线参考价值有限,有待进一步研究。综上所述,制备高品质用于食品加工的蛋白质基料是实现南极磷虾粉蛋白源成分进一步利用的前提。

本试验拟在分析南极磷虾粉蛋白质、油脂、甲壳素和矿质元素四类主要成分含量和基于营养学评价其氨基酸组成、脂肪酸组成和矿质元素组成的基础上,考察过筛、脱脂处理制备蛋白质加工基料过程中基本成分与氟含量的变化,为南极磷虾粉蛋白质制品的开发及副产物的利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

南极磷虾粉:南极磷虾经远洋捕捞后迅速以船载蒸煮、脱水、蒸汽烘干制得的全虾粉,经冷链运输至实验室在 4 °C 冰箱储存,测得水分含量为 7.79% 、蛋白质含量为 61.38% 、粗脂肪含量为 14.49% 、灰分含量为 14.92% 、氯化物含量为 2.21% ,中国水产有限公司;

木瓜蛋白酶(24 876 U/g)、动物蛋白水解酶(22 360 U/g):广西南宁庞博生物工程有限公司;

其他试剂:分析纯,广州化学试剂厂。

1.1.2 主要仪器设备

气质联用仪:Agilent Ge6sgo N/MSs973 型,美国 Agilent 公司;

全自动氨基酸分析仪:L-8900 型,株式会社日立制作所;

pH 计:PHS-3C 型,配备甘汞参比电极与氟离子选择电极,上海仪电科学仪器股份有限公司;

增力电动搅拌机:JB50-D 型,上海精科仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HHS 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

微波消解仪:MDS-6 型,上海心仪微波化学科技有限公司;

电感耦合等离子体质谱仪:Agilent 7800 型,美国 Agilent 公司;

送风干燥箱:EYELA WFO-700 型,东京理化器械株式会社;

全自动凯氏定氮仪:VADODEST 450 型,德国格哈特分析仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 南极磷虾油及脱脂虾粉的制备 分别对南极磷虾粉进行 20,30,40 目过筛处理,收集过筛粉与截留部分。得到过筛粉后加入料液比 $1:10$ (g/mL) 的正己烷-乙醇(体积比 $9:1$) 混合溶剂进行脱脂处理,收集 3 次脱脂液进行减压蒸馏处理,得到南极磷虾油^[12]。将所得的脱脂粉在 45 °C 电热鼓风干燥箱中干燥至恒重,得到脱脂南极磷虾粉。

1.2.2 测定项目及方法

(1) 总蛋白:按 GB 5009.5—2016 执行。

(2) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016 执行。

(3) 甲壳素:参考侯佰立等^[13]的方法。

(4) 矿质元素:按 GB 5009.268—2016 的电感耦合等离子体质谱法执行,矿质元素含量以测定的常量元素(钾、钠、镁、钙、磷)和微量元素(铬、铁、铜、锌、砷、硒、镉)的总质量计。

(5) 氨基酸组成:按 GB 5009.124—2016 执行。

(6) 脂肪酸组成:按 GB 5009.168—2016 执行。

(7) 水分:按 GB 5009.3—2016 执行。

(8) 灰分:按 GB 5009.4—2016 执行。

(9) 氯化物:按 GB 5009.44—2016 执行。

(10) 氟含量:按 GB/T 5009.18—2003 的氟离子选择电极法执行。

(11) 基料的质量损失率:按式(1)计算。

$$G' = \frac{a}{b} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

G' ——质量损失率, %;

a ——过筛后虾粉质量, g;

b ——过筛前虾粉质量, g。

1.2.3 数据处理与分析 数据经正态性检验服从正态分布后,采用 Duncan 法进行差异显著性检验 ($P < 0.05$), 结果以平均值 \pm 标准误 (Mean \pm SD) 表示,采用 Origin 8.5 绘图。

2 结果与分析

2.1 主要成分含量的测定

如表 1 所示,南极磷虾粉 4 种成分的总量占比达到了

88.22%。其含量水平与同类报道有一定差异^[14],可能受南极磷虾生长环境与年限、捕捞季节与方式、船载加工设备与参数等诸多因素影响。其中,蛋白质含量在 3 种有效成分中的占比达到了 69.58%,是发展南极磷虾粉可食化加工的首要资源利用点。此外,南极磷虾粉中矿质元素的含量水平较高,可能与其蛋白源成分及矿质元素有较强的结合活性有关^[15],提示该蛋白源有望开发成高品质金属螯合肽。

表 1 南极磷虾粉蛋白质、粗脂肪、甲壳素和矿质元素含量[†]

Table 1 Protein, lipids, chitin and minerals content in antarctic Krill meal ($n=3$) %

蛋白质	粗脂肪	甲壳素	矿质元素
61.38±0.67	14.49±0.04	6.08±0.19	6.27±0.24

[†] 含量以湿基计。

2.2 氨基酸、脂肪酸和矿质元素组成及营养学评价

2.2.1 氨基酸组成分析 由表 2 可知,南极磷虾粉共检出 18 种氨基酸,包括了人体必需的 8 种氨基酸和 2 种半必需氨基酸。其中,谷氨酸含量最高,为 7.18%,色氨酸含量最低,为 0.82%。南极磷虾粉中 $\Sigma EAA/\Sigma AA$ 达到 38.74%,高于 FAO/WHO 的推荐值(35.38%),但低于鸡蛋蛋白的标准值(48.08%)。此外, $\Sigma EAA/\Sigma NEAA$ 值为 70.24%。可见,南极磷虾粉符合 FAO/WHO 认可的优质蛋白质源。目前,中国尚无有关虾粉氨基酸评级的行业标准,但对于鱼粉可根据赖氨酸和蛋氨酸的含量(特级鱼粉:赖氨酸含量 $\geq 1.5\%$;蛋氨酸含量 $\geq 3.6\%$)进行评价。对比来看,南极磷虾粉未经处理就已接近特级鱼粉的氨基酸评级标准,表明其具有良好的开发前景。

表 2 南极磷虾粉氨基酸组成[†]

Table 2 Amino acids composition of antarctic krill meal ($n=3$) %

氨基酸	含量	氨基酸	含量
天冬氨酸 Asp	5.17±0.04	亮氨酸 Leu	3.86±0.01
苏氨酸 Thr	2.08±0.02	酪氨酸 Tyr	1.63±0.01
丝氨酸 Ser	1.99±0.01	苯丙氨酸 Phe	2.09±0.01
谷氨酸 Glu	7.18±0.02	组氨酸 His	1.93±0.01
甘氨酸 Gly	2.14±0.01	赖氨酸 Lys	3.63±0.02
丙氨酸 Ala	2.70±0.00	精氨酸 Arg	3.06±0.04
缬氨酸 Val	2.32±0.02	脯氨酸 Pro	1.73±0.02
蛋氨酸 Met	1.40±0.00	胱氨酸 Cys	1.26±0.00
异亮氨酸 Ile	2.35±0.03	色氨酸 Trp	0.82±0.00
ΣAA	47.34±0.06	ΣEAA	18.34±0.04
$\Sigma HEAA$	2.89±0.01	$\Sigma NEAA$	26.11±0.03
ΣDAA	21.12±0.05	$\Sigma EAA/\Sigma AA$	38.74±0.02
$\Sigma EAA/\Sigma NEAA$	70.24±0.08	$\Sigma DAA/\Sigma AA$	44.61±0.03

[†] “ ΣAA ”为氨基酸总量;“ ΣEAA ”为必需氨基酸总量;“ $\Sigma HEAA$ ”为半必需氨基酸总量;“ $\Sigma NEAA$ ”为非必需氨基酸总量;“ ΣDAA ”为呈味氨基酸总量。

南极磷虾粉中含有丰富的支链氨基酸,主要包括缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸,所占比例为 17.64%。此外,芳香族氨基酸(苯丙氨酸+酪氨酸)的占比为 7.86%。支链氨基酸/芳香族氨基酸的比值达 2.29,接近正常人和哺乳动物的比例,表明南极磷虾粉必需氨基酸的比例均衡。因此,摄入南极磷虾粉有助于维持机体的营养与代谢平衡。同时,南极磷虾粉中精氨酸和赖氨酸含量较高,对于以谷物食品为主的中国居民而言,可有效弥补赖氨酸的摄入不足。同时,赖氨酸是人乳中的第一限制性氨基酸^[16]。精氨酸并非人体必需氨基酸,但有研究^[17]表明其有助于儿童的生长发育和伤口的愈合。总体而言,南极磷虾粉的氨基酸组成合理,是开发高价值保健品的潜在原料。

2.2.2 脂肪酸组成分析 食用油脂一般重点关注的是多不饱和脂肪酸的含量与组成^[18]。主要归因于多不饱和脂肪酸对食品加热产生的风味成分贡献值最大,并且是生物体新陈代谢所必需,具有降三高、免疫调剂、抗衰老等广谱的生物活性。由图 1 和表 3 可知,南极磷虾粉中共检出 21 种脂肪酸,占峰面积的 99.59%。其中 ΣSFA 的比例为 37.61%, $\Sigma MUFA$ 的比例为 36.88%, $\Sigma PUFA$ 的比例为 25.10%,EPA+DPA+DHA 的比例为 18.19%。可见,南极磷虾粉脂肪酸组成以不饱和脂肪酸为主,占比达到 61.98%,具有一定的开发价值。

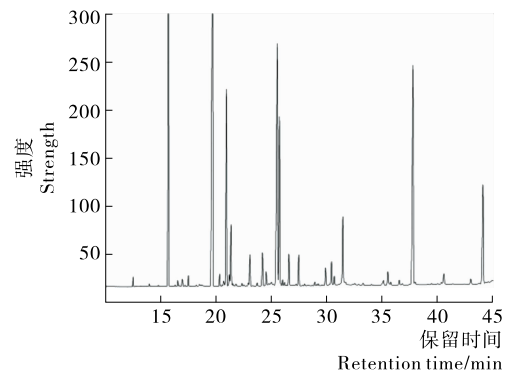


图 1 南极磷虾粉油脂 GC-MS 总离子流

Figure 1 Total ion flow of GC-MS in antarctic krill meal lipid

相比新鲜南极磷虾脂肪酸组成,南极磷虾粉饱和脂肪酸比例明显增加,不饱和脂肪酸比例明显下降,尤其是 EPA+DPA+DHA 下降幅度超过了 50%^[12,19-20]。一方面可能是南极磷虾粉在高温下脂肪酸的不饱和键通过加氢和氧化反应实现饱和并解链^[21];另一方面也可能跟南极磷虾原料、制粉中蒸煮过程中的自然损失以及油脂的提取方法等因素有关。

2.2.3 矿质元素组成分析 矿质元素不能由机体自身合成,必须从日常膳食中摄入,因此是食品营养学评价的重要指标之一。由表 4、5 可知,南极磷虾粉中矿质元素含量约为 6.27%,与新鲜南极磷虾和已报道^[22-23] 的南极磷虾粉各指标有一定差异,可能与捕捞季节、采集地点和加工方式有关。

表 3 南极磷虾粉油脂 GC-MS 成分分析[†]

Table 3 Analysis results of GC-MS composition of lipid in antarctic krill meal (n=3) %

脂肪酸	含量	脂肪酸	含量
月桂酸(C _{12:0})	0.22±0.01	花生一烯酸(C _{20:1})	1.40±0.01
十三烷酸(C _{13:0})	0.06±0.00	十八碳四烯酸(C _{18:4})	2.90±0.02
豆蔻酸(C _{14:0})	12.80±0.01	ARA(C _{20:4})	0.50±0.02
豆蔻一烯酸(C _{14:1})	0.30±0.00	芥酸(C _{22:1})	0.83±0.01
十五烷酸(C _{15:0})	0.33±0.00	EPA(C _{20:5})	12.40±0.04
棕榈酸(C _{16:0})	22.00±0.04	二十四碳一烯酸(C _{24:1})	0.65±0.01
棕榈一烯酸(C _{16:1})	11.00±0.01	DPA(C _{22:5})	0.29±0.01
十七碳一烯酸(C _{17:1})	1.30±0.01	DHA(C _{22:6})	5.50±0.01
硬脂酸(C _{18:0})	2.10±0.01	ΣFSA	99.59±0.14
油酸(C _{18:1})	21.40±0.03	ΣSFA	37.61±0.06
亚油酸(C _{18:2})	2.60±0.01	ΣMUFA	36.88±0.04
亚麻酸(C _{18:3})	0.91±0.00	ΣPUFA	25.10±0.03
花生酸(C _{20:0})	0.10±0.00	EPA+DPA+DHA	18.19±0.04

[†] “ΣFSA”为脂肪酸总量;“ΣSFA”为饱和脂肪总量;“ΣMUFA”为单不饱和脂肪酸总量;“ΣPUFA”为多不饱和脂肪酸总量。

表 4 南极磷虾粉中常量元素含量

Table 4 The content of major elements in antarctic krill (n=3) %

K	Na	Mg	Ca	P
0.62±0.04	0.87±0.05	0.69±0.03	2.64±0.12	1.43±0.09

表 5 南极磷虾粉中微量元素含量

Table 5 The content of trace elements in antarctic krill (n=3) mg/kg

Cr	Fe	Cu	Zn	As	Se	Cd
0.16±0.01	113.49±3.26	49.72±2.17	45.60±2.31	0.17±0.00	3.83±0.20	0.11±0.01

南极磷虾粉中常量元素组成全面,其中钙和磷的含量最为突出,分别达到了 2.64% 和 1.43%。钙和磷是构成人体骨骼、牙齿和软组织的物质基础,并参与了机体的能量代谢。此外,磷还是核酸的基本成分之一,并参与调节体内的酸碱平衡。可见,南极磷虾粉具有助儿童发育和预防中老年骨质疏松的潜在功效。铁、铜、锌、硒构成了促进人类健康最为主要的微量元素,其在南极磷虾粉中含量分别为 113.49, 49.72, 45.60, 3.83 mg/kg。铁参与组成了细胞色素酶、过氧化氢酶和肌红蛋白,并参加了机体正常的生理过程。锌和铜则参与构成了人体关键内源酶的活性中心,并直接或间接作用于核酸、蛋白质等生物大分子的合成和机体免疫过程。而硒则具有独特的抗氧化、促进癌细胞凋亡和延缓衰老的功效。铁、铜、锌理化性质较为相似,当 Zn/Cu 含量比>10 和 Zn/Fe 含量比>1 时,在机体内会发生拮抗效应,生物学活性的效价降低^[20]。而南极磷虾粉中 Zn/Cu 含量比为 0.92、Zn/Fe 含量比为 0.40,表明其分布均衡,符合营养学标准。此外,南极磷虾粉中 Cr、As 和 Cd 3 种有毒重金属的检出均远低于中国食品安全的最低限量标准,表明南极磷虾的生长环境水质良好。

2.2.4 蛋白质加工基料制备过程中基本成分与氟含量的变化 食品的营养价值主要取决于蛋白质和脂肪的含量和组成。由表 6 可以看出,南极磷虾粉未经处理已达到其推荐标准,粗蛋白和粗脂肪的占比达到了 75.87%。随着过筛目数的增大,南极磷虾粉中总蛋白含量随之增加,灰分含量随之减少。其他指标变化均具有统计学意义,但规律不明显,表明适宜的过筛处理有助于蛋白质基料品质的提升。最终确定最适方案为过 30 目筛。将得到的 30 目筛粉进行脱脂处理,结果发现脱脂效果良好,脱脂率达到了 94.02%,得到的脱脂粉各指标均符合南极磷虾粉推荐标准,并超过了特级鱼粉标准。

制约南极磷虾粉可食化生产的主要因素是其成分复杂且氟含量高。结果显示,30 目过筛处理后,粉基中氟含量水平同比降低约 10%。而脱脂处理后得到的蛋白质基料氟含量水平有一定提升,表明氟在虾油和脱脂溶剂中溶解水平较低。本研究以过筛和脱脂得到的南极磷虾粉氟含量超过了 1 000 mg/kg,远高于 FAO 规定允许食用的最低限量标准 100 mg/kg,需要在可食化加工过程中重点考虑脱氟工艺。

表 6 过筛、脱脂对南极磷虾粉基本成分与氟含量的影响[†]

Table 6 Effect of screening and degreasing on the basic components of antarctic krill meal

样品	水分/%	粗脂肪/%	粗蛋白/%	灰分/%	氯化物/%	氟含量/(mg·kg ⁻¹)
原粉	7.79±0.01 ^d	14.49±0.04 ^a	61.38±0.67 ^c	14.92±0.06 ^c	2.21±0.02 ^d	1 265.40±26.36 ^c
20 目粉	7.81±0.02 ^d	14.11±0.03 ^b	62.31±0.92 ^c	14.53±0.03 ^d	2.17±0.03 ^d	1 214.80±31.60 ^{cd}
30 目粉	7.89±0.01 ^c	14.38±0.04 ^a	63.00±0.34 ^c	11.39±0.05 ^e	2.23±0.02 ^{cd}	1 128.40±25.95 ^d
40 目粉	7.68±0.02 ^e	14.16±0.06 ^b	65.64±0.49 ^b	9.88±0.04 ^f	2.29±0.03 ^c	1 084.79±36.31 ^d
20 目壳	9.41±0.01 ^a	14.73±0.08 ^a	45.24±0.39 ^e	27.07±0.08 ^a	2.72±0.03 ^a	2 362.78±58.64 ^a
30 目壳	9.49±0.03 ^a	14.21±0.04 ^b	46.43±0.33 ^e	26.60±0.07 ^a	2.68±0.03 ^a	2 316.12±50.25 ^a
40 目壳	8.33±0.03 ^b	14.21±0.06 ^b	57.84±0.51 ^d	17.84±0.04 ^b	2.45±0.02 ^b	2 145.83±65.23 ^b
30 目脱脂粉	5.56±0.02 ^d	1.76±0.03 ^d	73.80±0.87 ^a	14.41±0.05 ^c	2.51±0.03 ^b	1 268.56±21.36 ^c
南极磷虾粉 推荐标准	≤10.00	≥12.00	≥58.00	≤18.00	≤3.00	
特级鱼粉标准	≤10.00	≤11.00	≥65.00	≤18.00	≤3.00	

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

3 结论

南极磷虾粉蛋白质中必需氨基酸组成齐全、含量均衡,尤其是支链氨基酸和呈味氨基酸含量丰富,具有开发高价值即食食品和保健品的潜力。相比新鲜南极磷虾,南极磷虾粉油脂的品质有所下降,不饱和脂肪酸含量降低,中短链脂肪酸和饱和脂肪酸含量增加,但其脂肪酸组成仍以不饱和脂肪酸为主,经适当精炼后仍具有利用价值。此外,南极磷虾粉中矿质元素含量丰富、组成均衡,重金属污染水平低。总体而言,南极磷虾粉是一类高品质食品原料。

对比发现,蛋白质占南极磷虾粉有效成分的 74.90%,且氨基酸效价突出,是发展南极磷虾粉加工业的首要资源利用点。对南极磷虾粉采用 30 目过筛、正己烷-乙醇(体积比 9:1)脱脂后,综合指标符合南极磷虾粉推荐标准,超过了特级鱼粉的评价标准,并使体系中的氟含量减少约 10%,制得了品质优良的蛋白质加工基料。而该基料中蛋白源成分的高效提取与深加工、加工过程中副产物的回收利用有待进一步研究。

参考文献

[1] 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.

[2] 吉薇, 章超桦, 吉宏武. 响应面法优化南极磷虾酶法制备 DPP-IV 抑制肽工艺条件的研究[J]. 广东海洋大学学报, 2016, 36(6): 100-106.

[3] 谈俊晓, 赵永强, 李来好, 等. 南极磷虾综合利用研究进展[J]. 广东农业科学, 2017, 44(3): 143-150.

[4] 燕梦雅, 陈雪忠, 刘志东, 等. 南极磷虾来源酶的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(9): 368-373.

[5] 龚洋洋, 黄艳青, 陆建学, 等. 南极磷虾粉在水产饲料中的应用研究进展[J]. 海洋渔业, 2013, 35(2): 236-242.

[6] XU Hou-guo, ZHAO Min, ZHENG Ke-ke, et al. Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal in the diets improved the reproductive performance of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) broodstock[J]. Aquaculture Nutrition, 2017, 23(6): 1 287-1 295.

[7] DERBY C D, ELSAYED F H, WILLIAMS S A, et al. Krill meal enhances performance of feed pellets through concentration-dependent prolongation of consumption by Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2016, 458: 13-20.

[8] 刘志东, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 南极磷虾粉加工与贮藏技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 357-361.

[9] WANG Yan-chao, CHANG Yao-guang, YU Long, et al. Crystalline structure and thermal property characterization of chitin from Antarctic krill (*Euphausia superba*)[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 90-97.

[10] 韩晓银, 张莉莉, 张金昂, 等. 南极磷虾分离蛋白对降低油炸裹面鳕鱼含油量的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 100-103.

[11] WANG Yan-chao, WANG Ruo, CHANG Yao-guang, et al. Preparation and thermo-reversible gelling properties of protein isolate from defatted Antarctic krill (*Euphausia superba*) by-products[J]. Food Chemistry, 2015, 188: 170-176.

[12] XIE Dan, MU Hong-yan, TANG Tian-pei, et al. Production of three types of krill oils from krill meal by a three-step solvent extraction procedure[J]. Food Chemistry, 2018, 248: 279-286.

[13] 侯佰立, 吉宏武, 王燕, 等. 凡纳滨对虾虾头制备甲壳素工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(10): 273-276.

[14] 刘志东, 陈勇, 曲映红, 等. 挤压加工对南极磷虾粉营养组分的影响[J]. 海洋渔业, 2016, 38(3): 311-319.

[15] HOU Hu, WANG Shi-kai, ZHU Xiao, et al. A novel calcium-binding peptide from Antarctic krill protein hydrolysates and identification of binding sites of calcium-peptide complex[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 389-395.

[16] 吴尚仪, 吴尚, 韩宏娇, 等. 不同泌乳期人乳与牛乳中游离氨基酸的对比[J]. 食品科学, 2018(8): 129-134.

[17] MASUMOTO K, NAGATA K, OKA Y, et al. Successful treatment of an infected wound in infants by a combination of negative pressure wound therapy and arginine supplementation[J]. Nutrition, 2011, 27(11): 1 141-1 145.

(下转第 76 页)

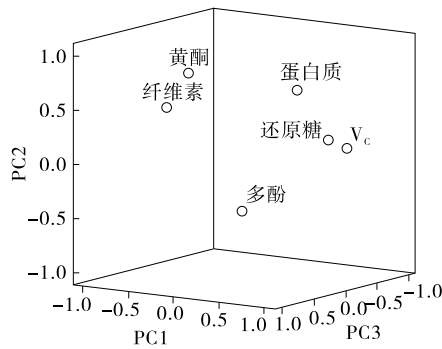


图2 主成分因子旋转示意图

Figure 2 Rotation schematic of principal component

和成熟果中含量较高;还原糖和抗坏血酸含量和FRAP随着果实的发育呈持续上升趋势,在成熟果实中含量最高;而总酚则随着果实的发育呈先增后降的趋势,总黄酮含量在整个发育期均维持较高的水平;DPPH维持相对稳定,ABTS则呈先增后降的趋势。整体而言,成熟果实具有较高的营养成分和抗氧化能力,具有较高的综合营养价值,是功能食品、药品开发的优质原料。

参考文献

[1] 李婕玲, 胡继伟, 李朝婵. 贵州不同种植地区无籽刺梨果实品质评价[J]. 果树学报, 2016(10): 1 259-1 268.

[2] 鲁敏, 安华明, 赵小红. 无籽刺梨与刺梨果实中氨基酸分析[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 118-121.

[3] 谢国芳, 徐小燕, 王瑞, 等. 金刺梨果实和叶中酚类、V_c含量及其抗氧化能力分析[J]. 植物科学学报, 2017, 35(1): 122-127.

[4] 牟君富, 王绍美, 朱庆刚, 等. 刺梨果实发育中生理生化变化规律的初步研究[J]. 贵州农业科学, 1984(3): 50-52.

[5] 安华明, 樊卫国, 刘庆林, 等. 刺梨果实和叶片发育过程中抗坏血酸和抗氧化酶的协同变化[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1 293-1 296.

[6] 周广志, 鲁敏, 安华明. 刺梨果实发育过程中主要活性物质含量及其抗氧化性分析[J/OL]. 食品科学: 1-8 [2018-07-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20180122.1112.004.html>.

[7] 樊卫国, 向显衡, 罗充, 等. 刺梨果实生长发育期间Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu元素含量变化研究[J]. 山地农业生物学报, 1994(3): 50-55.

[8] 樊卫国, 安华明, 刘国琴, 等. 刺梨果实与种子内源激素含量变化及其与果实发育的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 728-733.

[9] 罗充, 樊卫国, 刘进平, 等. 钙、钙调素在刺梨果实发育过程中的含量变化研究[J]. 种子, 2004, 23(12): 6-8.

[10] 付慧晓, 王道平, 黄丽荣, 等. 刺梨和无籽刺梨挥发性香气成分分析[J]. 精细化工, 2012, 29(9): 875-878.

[11] 刘松, 赵德刚. 无籽刺梨(*Rosa kweichonensis* var *sterilis*)研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2014, 33(1): 76-80.

[12] 吴洪娥, 金平, 周艳, 等. 刺梨与无籽刺梨的果实特性及其主要营养成分差异[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(8): 221-223.

[13] 缪颖, 田维娜, 郝长敏, 等. 壳聚糖处理延缓采后菜豆荚纤维化的研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 132-137.

[14] XIE Guo-fang, TAN Shu-ming, YU Lu. Effect of calcium chloride treatment on quality of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) [J]. Eur J Hort Sci, 2014, 79(1): 16-21.

[15] XIE Guo-fang, TAN Shu-ming, YU Lu. Effect of cultivar on quality of the common bean during storage[J]. Int Agri Eng J, 2015, 24(2): 69-78.

[16] NUNCIO-JÁUREGUI N, MUNERA-PICAZO S, CALÍN-SÁNCHEZ Á, et al. Bioactive compound composition of pomegranate fruits removed during thinning [J]. J Food Compos Anal, 2015, 37: 11-19.

[17] DRAGOVIC-UZELA V, SAVIC Z, BRALA A, et al. Evaluation of phenolic content and antioxidant capacity of blueberry cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in the Northwest Croatia[J]. Food Technol Biotech, 2010, 48(2): 214-221.

[18] TAUCHEN J, MARSIK P, KVASNICOVA M, et al. In vitro antioxidant activity and phenolic composition of Georgian, Central and West European wines[J]. J Food Compos Anal, 2015, 41: 113-121.

[19] SCHAICH K, TIAN X, XIE J. Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays[J]. J Funct Foods, 2015, 14: 111-125.

[20] TODOROVIC V, REDOVNIKOVIC I R, TODOROVIC Z, et al. Polyphenols, methylxanthines, and antioxidant capacity of chocolates produced in Serbia[J]. J Food Compos Anal, 2015, 41: 137-143.

[21] XIE Guo-fang, WANG Jia-jia, XU Xiao-yan, et al. Effect of different ripening stages on bioactive compounds and antioxidant capacity of wild *Rosa laevigata Michx*[J]. Food Sci Tech (Campinas), 2016, 36(3): 396-400.

[22] 杨江涛, 杨娟, 谢红, 等. 刺梨多糖粗品与纯品体外抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2008(2): 94-96.

[23] 杨江涛, 杨娟, 杨江冰, 等. 刺梨多糖对衰老小鼠体内抗氧化能力的影响[J]. 营养学报, 2008, 30(4): 407-409.

(上接第72页)

[18] BAZINET R P, LAYÉ S. Polyunsaturated fatty acids and their metabolites in brain function and disease[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2014, 15(12): 771-85.

[19] 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, 43(1): 8-12.

[20] 周莉, 李佩璇, 赵钰灵, 等. 响应面法优化南极磷虾粗脂肪索氏提取工艺[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 165-170.

[21] 李莹莹, 李家鹏, 吴晓丽, 等. 蒸煮温度和时间对猪肉脂肪酸组成比例关系的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 27-30.

[22] 朱元元, 尹雪斌, 周守标. 南极磷虾及矿物质营养的初步研究[J]. 极地研究, 2010, 22(2): 135-140.

[23] 沈晓盛, 李彦霖, 张海燕, 等. 南极磷虾中氟与矿质元素的分布特征及其相关性分析[J]. 现代食品科技, 2013, 29(9): 2 279-2 282.