Hans Journal of Food and Nutrition Science 食品与营养科学, 2026, 15(3), 263-269
Published Online May 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/hjfns
https://doi.org/10.12677/hjfns.2026.153030

Hans汉斯

北极虾头脂肪酸的组成和结构分析

金赛男，叶晨晰，余　楠，姚名阳，仇伊轩，叶熙冉，贾建萍*

杭州医学院药学院、食品科学与工程学院，浙江　杭州

收稿日期：2026年3月28日；录用日期：2026年5月2日；发布日期：2026年5月13日

摘　要

研究不同溶剂对提取北极虾(*Pandalus borealis*)头中油脂得率的影响，并采用气相色谱－质谱(GC-MS)联用技术对提取的北极虾头油脂进行分析。结果表明，提取最优溶剂为乙醚，其对北极虾头中油脂提取得率为8.5%，通过GC-MS分析，北极虾头油脂中含有13种脂肪酸，不饱和脂肪含量为70.8%，其中二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)占总脂肪酸含量的22.1%。

关键词

北极虾头，脂肪酸，气相色谱－质谱法

Analysis of Fatty Acid Composition and Structures of *Pandalus borealis* Heads

Sainan Jin, Chenxi Ye, Nan Yu, Mingyang Yao, Yixuan Qiu, Xiran Ye, Jianping Jia*

School of Pharmacy, College of Food Science and Engineering, Hangzhou Medical College, Hangzhou Zhejiang

Received: March 28, 2026; accepted: May 2, 2026; published: May 13, 2026

Abstract

The influence of different solvents on the extraction yield of oil from *Pandalus borealis* heads was investigated, and the resulting oil was characterized by gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS). The results showed that Diethyl ether was the optimal solvent for oil extraction, affording an oil yield of 8.5%. GC-MS analysis identified 13 fatty acids, of which 70.8% were unsaturated; EPA and DHA together accounted for 22.1% of the total fatty acids.

Keywords

***Pandalus borealis* Heads, Fatty Acid, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)**

*通讯作者。

文章引用: 金赛男, 叶晨晰, 余楠, 姚名阳, 仇伊轩, 叶熙冉, 贾建萍. 北极虾头脂肪酸的组成和结构分析[J]. 食品与营养科学, 2026, 15(3): 263-269. DOI: 10.12677/hjfns.2026.153030

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

北极虾(*Pandalus borealis*)，属甲壳纲(*Crustacea*)，学名北方长额虾，又称为冷水虾、北极甜虾，主要产于北冰洋和北大西洋海域，因其常年生长在冰冷深海环境中，生长周期长(约 3~4 年)，肉质紧实，富含蛋白质、不饱和脂肪酸、游离氨基酸和矿物质等营养成分，深受消费者喜爱。我国是全球最大的北极虾加工国之一，每年加工量约 4 万~5 万吨，主要加工成虾仁罐头或冷冻生鲜制品，加工过程中产生大量的虾头、虾壳等废弃物，占虾体总重量的 50%~60%，主要用于鱼饵和动物饲料等，或者直接被丢弃。这些废弃物中仍含有较高的营养物质如脂肪酸(尤其含 Ω-3 不饱和脂肪酸)、蛋白质、甲壳素等，充分利用北极虾加工废弃物对于北极虾的高值化利用及解决资源浪费和环境污染问题有着积极的意义。有研究表明，北极虾蛋白水解物富含氨基酸，能促进大西洋鲑的生长[1]，Pohling 等[2]利用商业酶制备的北极虾甲壳素具有抗菌和抗氧化活性，Ruttanapornvareesakul 等[3] [4]发现虾头蛋白水解物能改善鱼糜冻藏和鱼肉干燥过程中蛋白质变性问题。但是对于北极虾头中脂肪酸成分的分析研究和评价并不全面，本文研究不同溶剂对提取北极虾头油脂得率的影响，分析北极虾头中脂肪酸的成分和含量，拟为北极虾头的高值化利用提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 材料与仪器

北极虾(*Pandalus borealis*)，购自皇家格陵兰水产(青岛)有限公司，90~120 只/kg，冷冻。解冻后剔除其虾身肌肉组织等异物，清洗后 50℃~60℃鼓风烘干，干燥后的北极虾头用高速粉碎机粉碎成骨粉末，备用。

旋转蒸发仪 RE-2000A 上海亚荣生化仪器厂；电子天平 SECURA125-1CN 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司；电子天平 ME204E 梅特勒－托利多仪器(上海)有限公司；SHZ-95A 循环水真空泵临海永昊真空设备有限公司；Agilent 6890 气相色谱仪美国 Agilent 公司。

2.2. 方法

2.2.1. 北极虾头中油脂的提取溶剂的选择

采用索氏抽提法[5]，取正己烷、氯仿、乙醚、乙醇 4 种有机溶剂分别抽提。均匀称取北极虾头粉试样 4 g 左右(精确到 0.0001 g)，放入事先准备好的滤纸筒内，滤纸筒内事先垫有脱脂棉，滤纸筒用尼龙线包扎好放入索氏抽提器的抽提筒内，连接已干燥至恒重的接收瓶(精准至 0.0001 g)，由抽提器冷凝管上端加入上述有机溶剂至瓶内容积的三分之二处，于水浴上加热，使有机溶剂不断回流抽提，提取 8 h，取下接收瓶，回收有机溶剂，待接收瓶内溶剂剩余 1~2 mL 时在水浴上蒸干，再于 100℃ ± 5℃干燥 1 h，放干燥器内冷却至室温后称量(精准至 0.0001 g)。

2.2.2. 北极虾头油脂得率的计算

$$\text{虾头油脂得率}(\%) = \frac{m}{m_0} \times 100$$

式中：m 为溶剂提取后油脂的质量(g)，m_0 为虾头粉试样的质量(g)。

2.2.3. 脂肪酸组成分析

样品乙酯化：精确称取北极虾头油脂样品 1.0000 g 左右至 25 mL 容量瓶，加入适量正己烷溶解并定容至刻度，取 5 mL 于具塞试管，加入 1 mL 2 mol/L 氢氧化钠乙醇溶液，振荡 10 min，置于 60℃水浴皂化 1~2 min，再加入 2 mL 2 mol/L 盐酸乙醇溶液，振荡 10 min，放入 50℃水浴乙酯化 2 min，取正己烷层。

气相色谱条件：色谱柱：聚乙二醇柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm)，程序升温，起始温度为 50℃保持 1 min，后以 20℃/min 程序升温至 250℃，保持 2 min，以 100℃/min 升至 295℃，保持 27 min。载气为氦气，分流比 30:1。

脂肪酸含量的计算：采用面积归一法。

2.2.4. 脂肪酸的气相色谱－质谱分析

质谱条件：电子能量 70 eV；离子源温度 280℃；传输线温度 280℃；溶剂延迟时间 5.00 min。

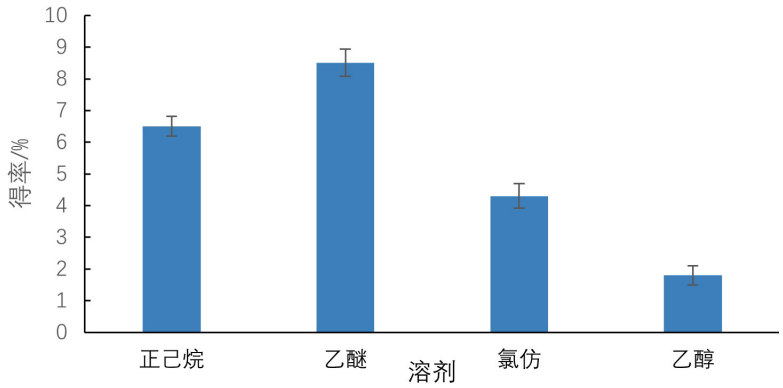
2.2.5. 数据处理

所有试验进行 3 次平行试验，数据表示为 $\bar{x}$ ± SD，采用 Excel2021 进行处理。

3. 结果与讨论

3.1. 提取溶剂的选择

4 种有机溶剂对北极虾头中油脂的提取结果如图 1 所示，乙醚的提取得率最高，为 8.5%，其次为正己烷(6.5%)，乙醇的提取得率最低，为 1.8%，得率的高低主要取决于提取的有机溶剂极性与油脂中一些物质成分的极性相似程度，相似程度越高，提取得率越高，所以对北极虾头中油脂提取的最佳溶剂为乙醚。

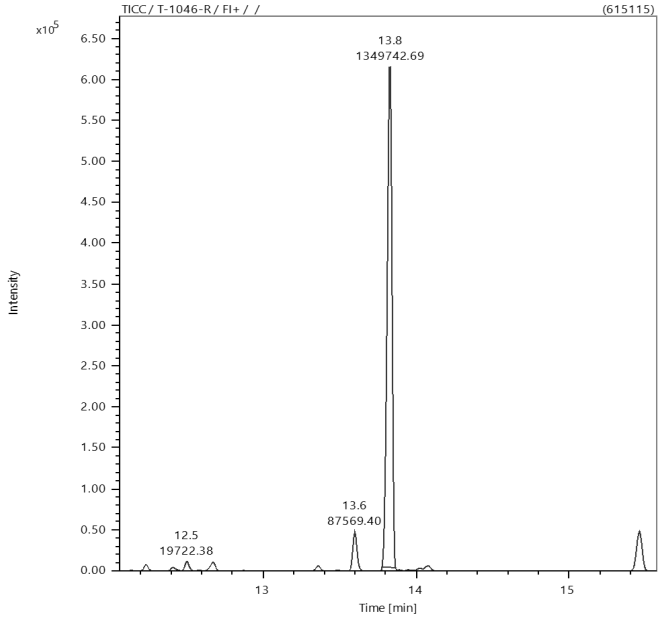


注：数据以干重计

Figure 1. Effect of solvent on the extraction of oil from *Pandalus borealis* heads
图 1. 溶剂对北极虾头油脂提取得率的影响

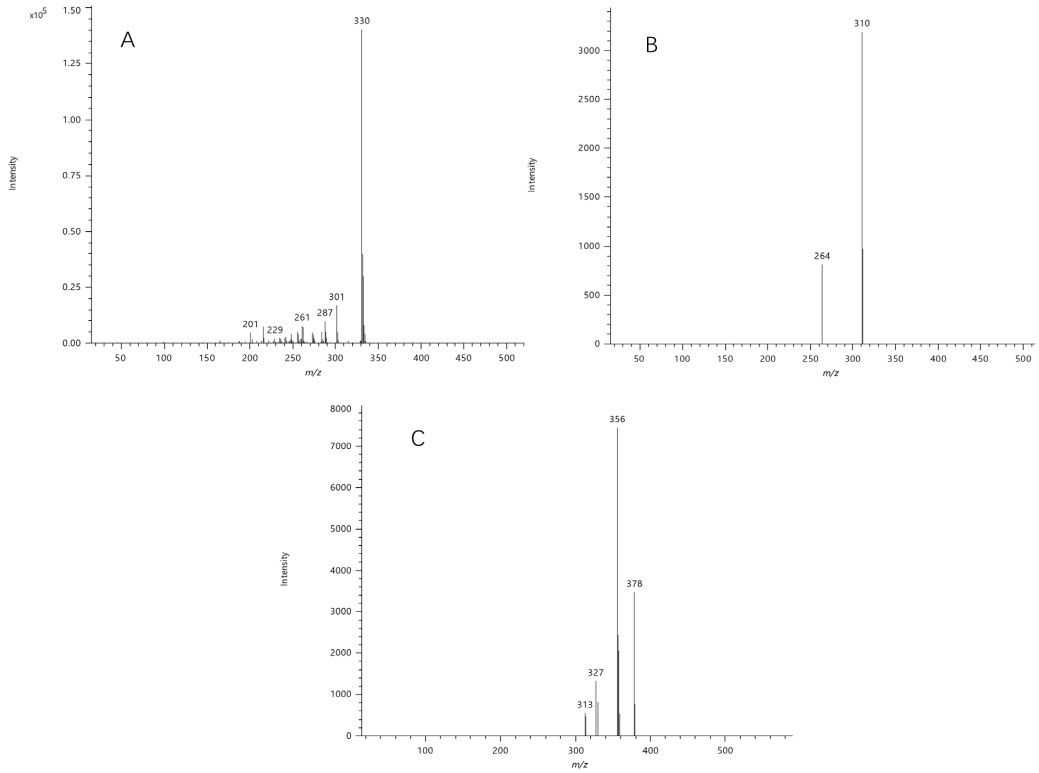
3.2. 脂肪酸组成 GC-MS 鉴定

纯化后的北极虾头油脂乙酯化后，通过场致电离(FI)和电子轰击电离(EI)两种离子源，进行气相色谱－质谱分析。在 FI 扫描模式下的总离子流色谱图如图 2 所示，北极虾头油脂是含有多种化合物的混合物。图 3 显示，在 m/z 310.29 处获得了分子离子峰的最高强度(图 3A)，该化合物为脂肪酸乙酯化后的脂类物质，表明相应脂肪酸为的分子量为 282 的油酸(C18:1)，类似地虾油中还含有亚油酸(C18:2)，以及 α-亚麻酸(C18:3)、二十碳四烯酸(C20:4)、二十碳五烯酸(EPA) (C20:5)、二十二碳六烯酸(DHA) (C22:6)等。北极虾头油脂在 EI 扫描模式下的标准质谱如图 4 所示，在该模式下测出亚麻酸(C18:3)、二十碳四烯酸(C20:4)、二十碳五烯酸(EPA) (C20:5)、二十碳六烯酸(DHA) (C22:6)等。



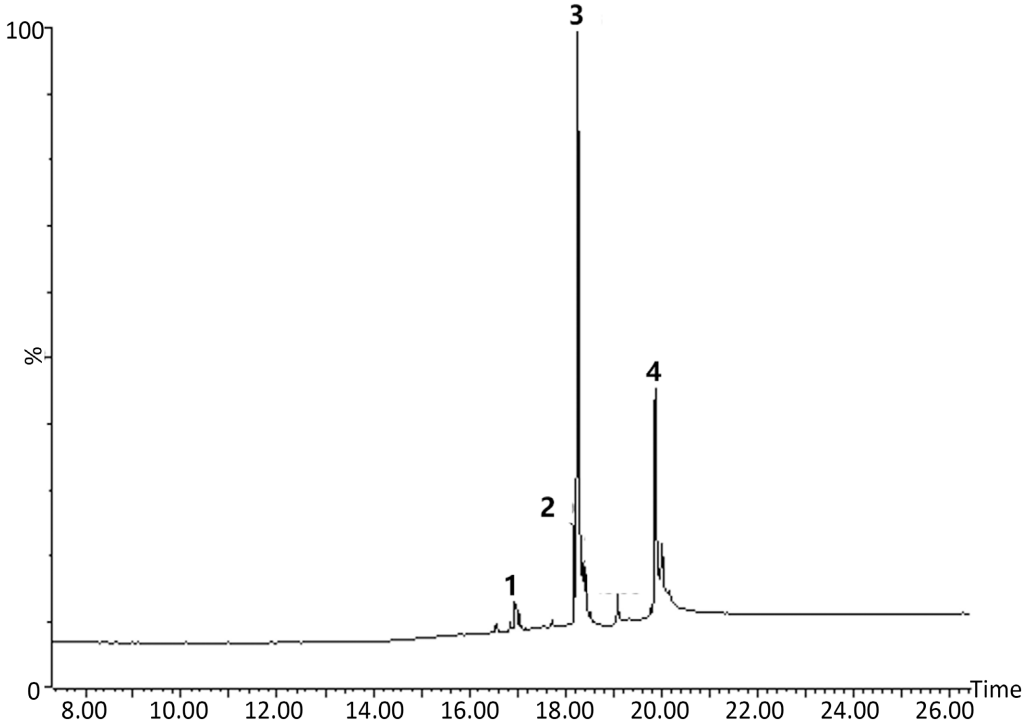
注：1，十六烷酸；2，油酸；3，亚油酸；4，亚麻酸；5，二十碳一烯酸；6，二十碳四烯酸；7，EPA；8，二十二碳一烯酸；9，DHA

Figure 2. Total ion chromatogram of fatty acid components of *Pandalus borealis* heads in FI mode
图 2. FI 模式下北极虾头油脂脂肪酸成分的 GC-MS 总离子流色谱图



注：A 油酸 B EPA C DHA

Figure 3. Mass spectra of fatty acid in *Pandalus borealis* heads
图 3. 北极虾头油脂中脂肪酸的质谱图



注：1，亚麻酸；2，二十碳四烯酸；3，EPA；4，DHA

Figure 4. Total ion chromatogram of fatty acid components of *Pandalus borealis* heads in EI
图 4. EI 模式下北极虾头油脂脂肪酸成分的 GC-MS 总离子流色谱图

3.3. 脂肪酸组成结果

对北极虾头油脂通过 GC-MS 2 种离子源得到的脂肪酸组分和含量结果如表 1 所示，共分析鉴定出 12 种脂肪酸，含有 4 种饱和脂肪酸(C14:0, C16:0, C18:0, C20:0)，9 种不饱和脂肪酸(C16:1, C18:1, C18:2, C18:3, C20:1, C20:4, C20:5, C22:1, C22:6)，饱和脂肪酸占 29.2%，不饱和脂肪酸 70.8%。饱和脂肪酸主要为 C14:0 (4.9%)、C16:0 (15.6%)、C18:0 (5.5%)，不饱和脂肪酸中单不饱和脂肪酸占 40.1%，主要为 C16:1 (8.5%)、C18:1 (20.5%)、C20:1 (6%)、C22:1 (5.1%)，多不饱和脂肪酸占 30%，主要为 C20:5 (13.6%)和 C22:6 (8.5%)，其饱和脂肪酸的组成和含量与哈氏仿对虾(30.82%)和刀额新对虾(32.68%)相近[6]，低于太平洋磷虾(34.23%) [7]和金刚虾(34.18%~41.88%) [8]，略高于口虾姑(26.57%~27.76%) [9]。此外，与鱼油相比，北极虾头油脂中饱和脂肪酸的组成与草鱼等淡水鱼油接近[10]，与鲳鱼、巴沙鱼等海洋鱼油类不同，后者以棕榈酸为主[11]。

北极虾头油脂多不饱和脂肪酸中 EPA 占 13.6 %，与哈氏仿对虾(11.44%) [6]、刀额新对虾(11.56%) [6]、太平洋磷虾(11.69%) [7]相近，高于金刚虾(8.24%~9.41%) [8]、口虾蛄(6.31%~7.43%) [9]；DHA 占 8.5%，与金刚虾(4.21%~9.34%) [8]接近、略低于太平洋磷虾(10.13%) [7]，北极虾头油脂中 DHA 和 EPA 总占 22.1%。DHA 和 EPA 作为人体必需的 ω-3 多不饱和脂肪酸，具有改善记忆[12]、抗炎[13]、抗肿瘤[14]、防止心脑血管疾病[15]、降低血脂和胆固醇[16]等作用。此外，北极虾头油中含有较高的单不饱和脂肪酸，尤其含油酸(20.5%)，油酸是一种 Ω-9 单不饱和脂肪酸，具有调节血脂[17]、抗氧化[18]等生理功能，其单不饱和脂肪酸含量与口虾蛄(34.81%)相近，高于刀额新对虾(17.3%)、哈氏仿对虾(21.04%)、太平洋磷虾(27.16%)等。可见北极虾头油具有较高的营养价值，可作为一种营养因子应用于人类保健食品或动物功能性饲料中。

Table 1. Fatty acid compositions of *Pandalus borealis* head oil
表 1. 北极虾头脂肪酸组成

脂肪酸	相对含量/%
十四烷酸 C14:0	4.9 ± 0.25
十六烷酸 C16:0	15.6 ± 0.81
十六碳一烯酸 C16:1	8.5 ± 0.13
十八烷酸 C18:0	5.5 ± 0.11
油酸 C18:1	20.5 ± 0.25
亚油酸 C18:2	3.4 ± 0.10
亚麻酸 C18:3	3.5 ± 0.17
二十烷酸 C20:0	3.2 ± 0.09
二十碳一烯酸 C20:1	6.0 ± 0.46
二十碳四烯酸 C20:4	1.7 ± 0.06
二十碳五烯酸 C20:5	13.6 ± 0.56
二十二碳一烯酸 C22:1	5.1 ± 0.28
二十二碳六烯酸(C22:6)	8.5 ± 0.46
饱和脂肪酸 SFA	29.2 ± 1.27
不饱和脂肪酸 UFA	70.8 ± 2.84
EPA + DHA	22.1 ± 1.39

4. 结论

北极虾头油脂中脂肪酸成分显示，其含有较多 EPA 和 DHA，两者的相对含量达 22.1%，此外还含有油酸、亚油酸等不饱和脂肪酸，不饱和脂肪酸相对含量达 70.8%，由此可见北极虾头是一种可开发利用的功能食品原料。

参考文献

[1] Plante, S., Béland, F., McNiven, M. and Gagnon, J. (2024) Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) Protein Hydrolyzate and Oil Promote Flesh Pigmentation and Growth in Post-Smolt Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Journal of Applied Aquaculture*, **36**, 771-788. https://doi.org/10.1080/10454438.2024.2321203

[2] Pohling, J., Ramakrishnan, V.V., Hossain, A., Trenholm, S. and Dave, D. (2024) Optimization of Enzymatic Deproteination of Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) Shell Chitin Using Commercial Proteases. *Marine Drugs*, **22**, Article 445. https://doi.org/10.3390/md22100445

[3] Ruttanapornvareesakul, Y., Somjit, K., Otsuka, A., Hara, K., Osatomi, K., Osako, K., *et al*. (2006) Cryoprotective Effects of Shrimp Head Protein Hydrolysate on Gel Forming Ability and Protein Denaturation of Lizardfish Surimi during Frozen Storage. *Fisheries Science*, **72**, 421-428. https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2006.01166.x

[4] Ruttanapornvareesakul, Y., Ikeda, M., Hara, K., Osako, K., Kongpun, O. and Nozaki, Y. (2005) Effect of Shrimp Head Protein Hydrolysates on the State of Water and Denaturation of Fish Myofibrils during Dehydration. *Fisheries Science*, **71**, 220-228. https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2005.00951.x

[5] GB 5009.6-2025. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S/OL]. 北京: 中国标准出版社, 2025. https://down.foodmate.net/standard/sort/3/166979.html, 2025-09-02.

[6] 刘文琪, 唐以杰, 洪胜宏, 等. 珠海淇澳岛红树林区三种野生虾类的脂肪酸分析[J]. 绿色科技, 2023, 25(23): 138-142.

[7] 刘坤, 王兰, 薛长湖, 等. 太平洋磷虾油的亚临界 R134a 萃取工艺及脂肪酸成分分析[J]. 食品科学, 2013, 34(14):

96-100.

[8] 俞韩绣, 许金震, 林祥日, 等. 养殖密度对金刚虾生长性能、肌肉氨基酸和脂肪酸的影响[J]. 水生动物营养, 2025, 48(22): 72-78.

[9] 陈春秀, 马超, 于燕光, 等. 卤虫不同强化方式对口虾蛄幼体成活率、变态率及脂肪酸组成的影响[J]. 水生动物营养, 2025, 48(14): 58-62.

[10] 王正云, 刘子潇, 展跃平. 超声波辅助酶法提取草鱼内脏鱼油工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品与机械, 2023, 39(9): 190-195.

[11] 王小三, 刘柯缨, 陈烨, 等. 人乳替代鲳鱼油和巴沙鱼油的脂肪酸、甘油三脂组成及含量分析[J]. 中国油脂, 2023, 48(11): 90-95.

[12] 袁传勋, 王成成, 吴月, 等. 含 DHA 藻油的茶油对初断乳小鼠脑部和视网膜发育的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 80-87.

[13] Zhang, Z., Xue, Z., Yang, H., Zhao, F., Liu, C., Chen, J., *et al*. (2021) Differential Effects of EPA and DHA on DSS-Induced Colitis in Mice and Possible Mechanisms Involved. *Food & Function*, **12**, 1803-1817. https://doi.org/10.1039/d0fo02308f

[14] Chen, J., Ruijtenbeek, R., Garssen, J. and Redegeld, F.A. (2022) Esterified Derivatives of DHA and EPA Increase Bortezomib Cytotoxicity in Human Multiple Myeloma Cells. *European Journal of Pharmacology*, **922**, Article ID: 174883. https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2022.174883

[15] 吴蓉洲. DHA 在急性心肌梗死中的心肌保护作用及其制的实验研究[D]: [博士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2020.

[16] 詹麒平, 朱昱哲, 张昕, 等. 高含量 DHA/EPA 甘油三脂的降血脂和保肝作用的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(13): 355-358.

[17] 王子豪, 孟鑫. 沙棘果油中油酸的富集及对高脂小鼠的代谢影响[J]. 食品科技, 2021, 46(9): 161-168.

[18] Bai, H., Wang, L., Lambo, M.T., Li, Y. and Zhang, Y. (2024) Effect of Changing the Proportion of C16:0 and Cis-9 C18:1 in Fat Supplements on Rumen Fermentation, Glucose and Lipid Metabolism, Antioxidation Capacity, and Visceral Fatty Acid Profile in Finishing Angus Bulls. *Animal Nutrition*, **18**, 39-48. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.04.010