

# 高效液相色谱-质谱联用法检测鱼油和南极磷虾油 中氧化三甲胺

于杰, 王丹, 高翔, 孟静, 薛长湖, 王玉明\*

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003)

**摘要:** **目的** 建立高效液相色谱-质谱联用法 (high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS) 测定鱼油和南极磷虾油中氧化三甲胺 (trimethylamine-N-oxide, TMAO) 含量的定量分析方法, 并对 5 种不同类型的鱼油和 6 种南极磷虾油中 TMAO 的含量进行测定。**方法** 用乙醚作为鱼油和南极磷虾油的溶剂, 以生理盐水和氢氧化钠溶液分别萃取鱼油和南极磷虾油中的 TMAO, 超滤离心后通过 HPLC-MS/MS 的多反应监测模式 (MRM) 检测 TMAO; 利用所建立的方法测定不同类型的鱼油和不同加工工艺的南极磷虾油中 TMAO 的含量。**结果** TMAO 在 5~250  $\mu\text{g/mL}$  范围内线性关系良好, 鱼油及南极磷虾油中 TMAO 回收率在 83.5%~111.8% 之间。市售鱼油中未检测到 TMAO 的存在。不同加工工艺制备的南极磷虾油中 TMAO 含量存在差异。**结论** 所建立的 HPLC-MS/MS 测定 TMAO 的方法快速准确, 灵敏度高, 可用于鱼油及南极磷虾油中 TMAO 含量的分析测定。

**关键词:** 氧化三甲胺; 高效液相色谱-质谱联用法; 鱼油; 南极磷虾油

## Determination of trimethylamine-N-oxide in fish oil and Antarctic krill oil by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

YU Jie, WANG Dan, GAO Xiang, MENG Jing, XUE Chang-Hu, WANG Yu-Ming\*

(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for determination of trimethylamine-N-oxide (TMAO) in fish oil and Antarctic krill oil by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS), and determine the TMAO content in 5 types of fish oils and 7 kinds of Antarctic krill oils. **Methods** Fish oils and Antarctic krill oils were dissolved by diethyl ether, and then TMAO was extracted by normal saline and sodium hydroxide solution respectively. The content of TMAO was determined by multiple-reaction monitoring (MRM) mode after ultra-filtration. TMAO content in various fish oils and Antarctic krill oils were determined by the established method. **Results** TMAO had a good linearity in range of 5~250  $\mu\text{g/mL}$ . The recoveries of TMAO in fish oil and Antarctic krill oil were 83.5%~111.8%. TMAO was not detected in commercial fish oil. TMAO content among Antarctic krill oil made with different extracting techniques were different. **Conclusion** The established method for TMAO detection is rapid, accurate and sensitive, which is suitable for monitoring of TMAO content in

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371757)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31371757)

\*通讯作者: 王玉明, 博士, 教授, 主要研究方向为水产食品营养学。E-mail: wangyuming@ouc.edu.cn

\*Corresponding author: WANG Yu-Ming, Ph.D, Professor, College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China. E-mail: wangyuming@ouc.edu.cn

fish oil and Antarctic krill oil.

**KEY WORDS:** trimethylamine-N-oxide; high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; fish oil; Antarctic krill oil

## 1 引言

氧化三甲胺(trimethylamine-N-oxide, TMAO), 广泛存在于水产品中, 且在海产品中含量较高<sup>[1]</sup>, 在水产品中具有稳定蛋白结构、调节渗透压等多种生理功能<sup>[2]</sup>。近期研究表明, 人体内过高的 TMAO 会对健康产生不利影响<sup>[3]</sup>。直接摄食 TMAO 能增加 ApoE 缺失小鼠粥样硬化斑块面积, 促进动脉粥样硬化的进程<sup>[4]</sup>。前期研究发现, 摄食 TMAO 可加剧高脂饮食小鼠的糖耐受损和脂肪组织炎症<sup>[5]</sup>。血清中 TMAO 水平与人体缺血性心衰、心血管疾病成明显相关关系<sup>[6,7]</sup>。因此, 水产食品中 TMAO 的安全问题, 也日益引发人们的关注。

TMAO 为极性分子, 可溶于水和甲醇, 微溶于乙醇, 不溶于乙醚<sup>[8]</sup>。以海产品为原料的加工产品如鱼油、虾油中可能含有 TMAO。鱼油作为传统保健品原料, 通常采用不同的深加工方式, 对鱼油中二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)、二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA) 含量进行富集来满足人们的需求。南极磷虾油作为新型的海洋功能脂质, 富含磷脂、 $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸等活性成分, 对于降低血脂, 防治糖尿病等有积极作用<sup>[9,10]</sup>。鱼油和南极磷虾油的制备均具有不同的加工工艺, 因而可能对产品中 TMAO 的含量产生影响。但目前对于鱼油和南极磷虾油中 TMAO 含量的测定尚未见报道。作为市场上的热销产品, 对鱼油和南极磷虾油中的 TMAO 的提取和检测具有重要意义。TMAO 的检测方法主要有分光光度法、气相色谱法、离子色谱法、液相色谱-质谱联用法等<sup>[11]</sup>, 其中, 液质联用法具有较高的灵敏度和准确度。本研究在前期工作的基础上建立高效液相色谱-质谱联用法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS) 测定鱼油和南极磷虾油中 TMAO 的分析方法, 定量分析不同形式鱼油和不同加工工艺的南极磷虾油中 TMAO 的含量。本方法的建立为鱼油和虾油产品中 TMAO 含量的检测提供了方法和依据。

## 2 材料与方 法

### 2.1 材料与试剂

三文鱼油、乙酯型鱼油(EPA+DHA<20%)由实验室制备; 甘油三酯型鱼油 1(EPA+DHA=30%)、甘油三酯型鱼油 2(EPA=40%, DHA=30%)(舟山新诺佳生物工程有限责任公司); 甘油三酯型鱼油 3(EPA=10%, DHA=70%)(宜宾汇海源生物科技有限公司)。

新工艺南极磷虾油、未煮虾南极磷虾油、南极磷虾粉虾油 A 和 B、黄色南极磷虾粉虾油、红色南极磷虾粉虾油均由实验室制备。

二水合氧化三甲胺(纯度>99%, 北京中生瑞泰科技有限公司); 甲醇(色谱纯, 默克股份两合公司); 甲酸铵(纯度>99%, Sigma-Aldrich 公司); 98%甲酸(分析纯, 国药全国化学试剂有限公司); 其余试剂均为国产分析纯。

### 2.2 仪器与设备

BT125D 型分析天平(赛多利斯科学仪器有限公司); 离心机(上海力申科学仪器有限公司); Agilent 1260 型快速高分离液相色谱、Agilent 6410 型质谱仪、Agilent ZORBAX SB-Phenyl 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5  $\mu$ m)(美国 Agilent 公司); 超纯水系统(美国 Millipore 公司)。

### 2.3 鱼油及南极磷虾油加工工艺

三文鱼油通过鱼粉经蒸煮压榨后离心分离制得, 乙酯型鱼油(DHA+EPA<20%)为天然甘油三酯型鱼油经转酯工艺制得。

新工艺南极磷虾油和未煮虾南极磷虾油均以实验室购买的冷冻南极磷虾为原料, 不同工艺制备虾粉后乙醇提取获得虾油; 南极磷虾粉虾油 A、B 以鲜活南极磷虾为原料, 不同料液比的乙醇提取获得虾油; 黄色南极磷虾粉虾油、红色南极磷虾粉虾油以鲜活南极磷虾为原料, 通过乙醇法提取虾油。具体工艺见表 1。

### 2.4 鱼油和南极磷虾油样品前处理

鱼油样品: 称取不同鱼油各 1 g, 每种样品一式 3 份, 溶解于 10 mL 乙醚中, 振荡溶解后加入 10 mL 生理盐水涡旋振荡, 静置分层后取下层水相。按相同的方法重复萃取两次后进行合并。3500 r/min, 4  $^{\circ}$ C 超滤离心 45 min 后于 4  $^{\circ}$ C 保存。

虾油样品: 称取不同南极磷虾油各 1 g, 每种样品一式 3 份, 溶解于 20 mL 乙醚中, 振荡溶解后加入 5 mL 超纯水涡旋振荡, 待样品中出现明显磷脂乳化层后, 加入 1 mL 的 0.5 mol/L 的氢氧化钠溶液, 静置 30 min 分层后取下层水相。按相同的方法重复萃取两次后进行合并。3500 r/min, 4  $^{\circ}$ C 超滤离心 45 min 后于 4  $^{\circ}$ C 保存。

### 2.5 液相色谱和质谱条件

#### 2.5.1 色谱条件

Agilent ZORBAX SB-Phenyl 柱(250 mm×4.6 mm, 5  $\mu$ m); 柱温 30  $^{\circ}$ C; 流速 0.8 mL/min; 流动相 A 为 10 mmol/L 甲酸铵, 流动相 B 含有 5 mmol/L 甲酸铵、0.1%甲

表 1 不同工艺来源的南极磷虾油  
Table 1 Antarctic krill oil extracted with different techniques

虾粉情况	虾油的提取方法
新工艺南极磷虾油	冷冻南极磷虾为原料, 打浆后不添加水快速蒸熟, 离心脱水
未煮虾南极磷虾油	冷冻南极磷虾为原料, 未经过蒸煮, 直接将解冻后的磷虾于烘箱中 95 °C 干燥 3 h
南极磷虾粉虾油 A	鲜活南极磷虾为原料, 船上蒸煮后离心脱水干燥
南极磷虾粉虾油 B	鲜活南极磷虾为原料, 船上蒸煮后离心脱水干燥
黄色南极磷虾粉虾油	鲜活南极磷虾为原料, 船上蒸煮后离心脱水干燥 (虾粉颜色偏黄)
红色南极磷虾粉虾油	鲜活南极磷虾为原料, 船上蒸煮后离心脱水干燥 (虾粉颜色偏红)

酸、25%甲醇; 进样体积为 5  $\mu$ L; 洗脱梯度程序: 0~5 min 流动相 B 为 0%, 0.5~3.5 min 流动相 B 由 0% 升至 100%, 3.5~11.5 min 流动相 B 维持在 100%, 11.5~14.5 min 流动相 B 由 100% 降至 0%。

### 2.5.2 质谱条件

电喷雾电离源(ESI 源), 正离子检测模式, 多反应监测(MRM)模式( $m/z$  76~58), 干燥气温度 350 °C, 干燥气流速度 10 L/min, 雾化气压力 50 psi, 毛细管电压 3500 V, 碎裂电压 100 V, 碰撞能量 20 eV。

## 2.6 方法学实验

### 2.6.1 线性关系考察

精确称取 73.98 mg 二水合氧化三甲胺, 用超纯水定容至 100 mL 容量瓶, 梯度稀释制成 250、100、40、20、5  $\mu$ g/mL 的标准溶液。

### 2.6.2 检测限和定量限的测定

按照配制 TMAO 标准溶液的方法, 将标准溶液浓度不断稀释,  $S/N=3$  和  $S/N=10$  分别作为检测限和定量限。

### 2.6.3 TMAO 回收率实验

鱼油样品: 精密称取含有 5、10、20 mg TMAO 的二水合氧化三甲胺加入 1 g 鱼油中, 每个加标样品一式 3 份。TMAO 的提取操作同 2.4 中所述。萃取液稀释 5 倍后 4 °C 保存, HPLC-MS/MS 检测。回收率(%)=(加标鱼油中 TMAO 质量 - 鱼油中 TMAO 质量)/加入 TMAO 质量 $\times$ 100%。

虾油样品: 精密称取含有 5、10、20 mg TMAO 的商品二水合氧化三甲胺加入 1 g 南极磷虾油中, 每个加标样品一式 3 份。TMAO 的提取操作同 2.4 中所述, 稀释 5 倍后 4 °C 保存, HPLC-MS/MS 检测。回收率(%)=(加标磷虾油中 TMAO 质量 - 磷虾油中 TMAO 质量)/加入 TMAO 质量 $\times$ 100%。

### 2.6.4 精密度实验

按照 2.6.1 配制标准溶液的方法, 取 20、40、100  $\mu$ g/mL

浓度的溶液, 连续进样 3 次并代入标准曲线, 记录各组的峰面积并计算标准偏差(RSD)。

## 3 结果与分析

### 3.1 标准曲线

按 2.6 中色谱和质谱条件进样分析。以峰面积( $Y$ )对浓度( $X$ )进行回归处理得标准曲线线性回归方程为  $Y=51298X+431916$ ,  $r$  为 0.9923, TMAO 含量在 5~250  $\mu$ g/mL 内具有良好的线性关系(如图 1)。

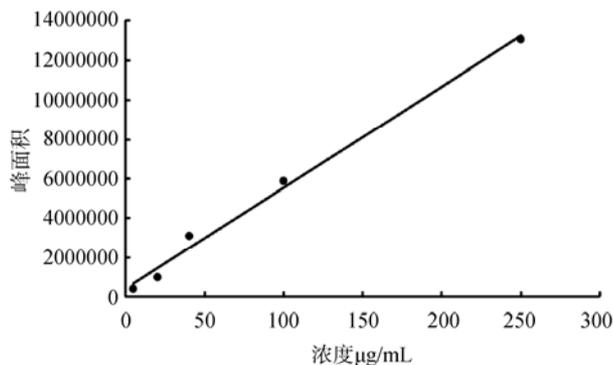


图 1 TMAO 标准曲线

Fig. 1 Standard curve of TMAO

### 3.2 检测限和定量限

将标准溶液不断进行稀释后按照色谱峰高是基线噪音 3 倍即  $S/N=3$  计算检测限, 色谱峰高是基线噪音的 10 倍即  $S/N=10$  计算定量限。测定检测限为 1 ng/mL, 定量限为 10 ng/mL, 符合一般检测要求。

### 3.3 鱼油和虾油中 TMAO 回收率

从表 2 可知, 鱼油中 TMAO 加标量为 5、10、20 mg

时的平均回收率分别为 111.8%、103.8%、83.5%。南极磷虾油在相同加标量的情况下回收率分别为 108.6%、96.5%、87.6%。此方法提取鱼油和南极磷虾油中的 TMAO 具有较好的可行性和适用性。

表 2 鱼油和南极磷虾油中 TMAO 加标回收率  
Table 2 TMAO standard addition recoveries of fish oil and Antarctic krill oil

品种	加标量 (mg)	测定值(mg)	回收率(%)
鱼油	5	5.59±0.029	111.8
	10	10.38±0.027	103.8
	20	16.69±0.109	83.5
南极磷虾油	5	7.53±0.057	108.6
	10	11.75±0.101	96.5
	20	19.61±0.152	87.6

### 3.4 精密度实验

按配制溶液连续进样 3 次后, 相同浓度下峰面积的 RSD 为 1.3%、1.7%和 2.1%, 精密度满足分析要求。

### 3.5 鱼油和南极磷虾油中 TMAO 含量的测定

如表 3 所示, 不同类型的鱼油中 TMAO 含量存在一定的差异。市售 3 种鱼油中未检测到 TMAO。三文鱼油和乙酯型鱼油(DHA+EPA<20%)样品中均含有微量的 TMAO, 分别为 0.090 mg/g 和 0.087 mg/g。

表 3 不同类型鱼油中 TMAO 含量(n=3)  
Table 3 TMAO content in different kinds of fish oil (n=3)

类别	TMAO 含量(mg/g)
三文鱼油	0.090±0.0003
乙酯型鱼油(DHA+EPA<20%)	0.087±0.0003
甘油三酯型鱼油 1(DHA+EPA=30%)	N.D.
甘油三酯型鱼油 2(DHA=30%, EPA=40%)	N.D.
甘油三酯型鱼油 3(DHA=70%, EPA=10%)	N.D.

注: N.D.表示未检出。

不同加工工艺来源制备的虾油中 TMAO 的含量存在较大差别。由表 4 可知, 新工艺法制备虾粉后萃取的南极磷虾油中 TMAO 含量为 6.85 mg/g, 比未煮虾制备的虾粉所提取的虾油 TMAO 含量低。高料液比提取的南极磷虾粉虾油 B 中 TMAO 含量为 3.63 mg/g, 明显低于低料液比提取的南极磷虾粉虾油 A 中 TMAO 含量。相同提取工艺制备的黄色和红色南极磷虾粉虾油中 TMAO 含量相近, 分别为 7.63 mg/g 和 8.15 mg/g。

表 4 不同工艺来源南极磷虾油中 TMAO 含量(n=3)  
Table 4 TMAO content in Antarctic krill oil extracted with different techniques (n=3)

类别	TMAO 含量(mg/g)
新工艺南极磷虾油	6.85±0.04
未煮虾南极磷虾油	19.83±0.12
南极磷虾粉虾油 A	18.79±0.10
南极磷虾粉虾油 B	3.63±0.01
黄色南极磷虾粉虾油	7.63±0.05
红色南极磷虾粉虾油	8.15±0.04

## 4 讨论与结论

本研究首次建立了鱼油及南极磷虾油中 TMAO 的高效液相色谱串联质谱的检测方法, 方法稳定、可靠, 线性、准确性及精密度均良好。同时对不同加工工艺的鱼油及南极磷虾油中 TMAO 含量进行了检测, 发现市售  $\omega$ -3 多不饱和脂肪酸鱼油中均未检测到 TMAO 存在, 初加工鱼油中含有少量 TMAO。不同加工工艺制备的南极磷虾油中 TMAO 含量存在一定的差异。

湿重的虾肉中 TMAO 含量约为 30~90 mmol/kg, 而湿重的硬骨鱼肉中含量约为 10~70 mmol/kg<sup>[1]</sup>。Ted 等<sup>[12]</sup>通过毛细管电泳法检测了多种鱼类加工副产品中 TMAO 含量。姜城子等<sup>[13,14]</sup>前期通过离子色谱法和液相色谱-质谱联用的方法检测了青岛地区多种水产品中的 TMAO 含量, 所测水产品中均有 TMAO 的存在。水产品中含有较多的水分和蛋白质, 多经三氯乙酸、乙腈等前处理沉淀蛋白后, 直接测定水产品中 TMAO 含量<sup>[15]</sup>。而鱼油和南极磷虾油为脂溶性物质, 并不适用于此类提取方法。由于 TMAO 具有易溶于水不溶于乙醚的特性<sup>[16]</sup>, 因此, 使用乙醚溶解鱼油和南极磷虾油后, 用生理盐水萃取其中的 TMAO 并用液相色谱-质谱联用的方法进行定量。而南极磷虾油中磷脂含量高, 萃取过程中磷脂吸水膨胀产生明显的乳化现象影响回收率和定量。实验发现南极磷虾油萃取过程中添加 0.5 mol/L 的氢氧化钠溶液乳化层消失, 因此通过添加氢氧化钠溶液来消除乳化对准确定量产生的影响。

鱼油的提取工艺主要有压榨法、溶剂法和超临界流体萃取法等<sup>[17]</sup>。经检测, 经过深加工的市售鱼油中均未检出 TMAO, 而实验室制备的三文鱼油和乙酯型鱼油中含有少量 TMAO, 分别为 0.090 mg/g 和 0.087 mg/g。文献报道, 加热温度、时间和 pH 都对 TMAO 的分解产生一定的影响<sup>[18]</sup>, 因此经过精制可以完全脱除粗制鱼油中的 TMAO。

本研究对比两种冷冻南极磷虾为原料制备的虾油发现, 烘箱干燥制备虾粉后提取的虾油比蒸煮法制备虾粉提取的虾油 TMAO 含量高。由于新工艺法制备的南极磷虾油采取的是匀浆蒸煮后离心脱水的加工工艺, 据此推测, 采

用新工艺制备虾粉过程中 TMAO 随水分脱除。不同料液比提取的南极磷虾粉虾油, 乙醇用量越多, TMAO 含量也相对较高。相同加工工艺制备的黄色南极磷虾粉虾油和红色南极磷虾粉虾油中 TMAO 含量相近, 表明虾粉氧化程度并不会影响虾油中 TMAO 的含量。

本方法适用于鱼油和虾油中 TMAO 的检测。同时测定了 5 种不同类型鱼油和 6 种南极磷虾油中 TMAO 的含量。鱼油制备时的深加工技术、虾粉制备工艺、提取溶剂的用量等都可能对鱼油和南极磷虾油中 TMAO 的含量造成差异。本研究为未来评价鱼油和虾油质量标准的评价提供了参考。

#### 参考文献

- [1] Kelly RH, Yancey PH. High contents of trimethylamine oxide correlating with depth in deep-sea teleost fishes, skates, and decapod crustaceans [J]. Biol Bull, 1999, 196(1): 18–25.
- [2] Gillett MB, Suko JR, Santos FO, *et al.* Elevated levels of trimethylamine oxide in muscles of deep-sea gadiform teleosts: A high-pressure adaptation? [J]. J Exp Zool, 1997, 279(279): 386–391.
- [3] Wang Z, Tang WH, Buffa JA, *et al.* Prognostic value of choline and betaine depends on intestinal microbiota-generated metabolite trimethylamine-N-oxide [J]. Eur Heart J, 2014, 35(14): 904–910.
- [4] Wang Z, Klipfell E, Bennett BJ, *et al.* Gut flora metabolism of phosphatidylcholine promotes cardiovascular disease [J]. Nature, 2011, 472(7341): 57–63.
- [5] Gao X, Xu J, Jiang C, *et al.* Fish oil ameliorates trimethylamine N-oxide-exacerbated glucose intolerance in high-fat diet-fed mice [J]. Food Funct, 2015, 6(4): 1117–1125.
- [6] Trøseid M, Ueland T, Hov JR, *et al.* Microbiota-dependent metabolite trimethylamine-N-oxide is associated with disease severity and survival of patients with chronic heart failure [J]. J Gen Intern Med, 2015, 277(6): 717–726.
- [7] Randrianarisoa E, Lehnstefan A, Wang X, *et al.* Relationship of serum trimethylamine N-oxide (TMAO) levels with early atherosclerosis in humans [J]. Sci Report, 2016, 6: 26745.
- [8] 陈军, 周海霞. 浅谈氧化三甲胺(TMAO) [J]. 科技创新导报, 2012, (19): 143–144.  
Chen J, Zhou HX. Brief Talk on trimethylamine N-oxide (TMAO) [J]. Sci Technol Innovation Herald, 2012, (19): 143–144.
- [9] Bunea R, El FK, Deutsch L. Evaluation of the effects of Neptune krill oil on the clinical course of hyperlipidemia [J]. Altern Med Rev A J Clin Ther, 2005, 9(4): 420–428.
- [10] 宋迪, 范宁宁, 赵福江, 等. 南极磷虾油对 2 型糖尿病防治作用研究进展 [J]. 中国卫生产业, 2011, (34): 171–172.  
Song D, Fan NN, Zhao FJ, *et al.* The Antarctic krill oil effect on prevention type 2 diabetes is reviewed [J]. China Health Ind, 2011, (34): 171–172.
- [11] 陈锦文, 崔燕芒, 赵燕. 三甲胺、二甲胺及氧化三甲胺含量测定方法的研究进展 [J]. 西北药学杂志, 2015, (2): 216–219.  
Chen JW, Cui YM, Zhao Y. Research progress of content determination methods of trimethylamine, dimethylamine and trimethylamine-N-oxide [J]. Northwest Pharm J, 2015, (2): 216–219.
- [12] Ted HW, Peter JB. Ammonia, dimethylamine, trimethylamine, and trimethylamine oxide from raw and processed fish by-products [J]. J Aquatic Food Prod Technol, 2008, 17(1): 27–38.
- [13] 姜城子, 崔洁, 周苗苗, 等. 青岛地区部分水产品中氧化三甲胺含量的测定 [J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(1): 41–46.  
Jiang CZ, Cui J, Zhou MM, *et al.* Determination of trimethylamine-N-oxide content in common aquatic products in Qingdao [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(1): 41–46.
- [14] 付雪媛, 刘丰海, 姜城子, 等. 高效液相色谱-质谱联用检测水产品中氧化三甲胺 [J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 269–275.  
Fu XY, Liu FH, Jiang CZ, *et al.* Determination of trimethylamine-N-oxide in aquatic product using high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(1): 269–275.
- [15] Li F, Liu HY, Xue CH, *et al.* Simultaneous determination of dimethylamine, trimethylamine and trimethylamine-N-oxide in aquatic products extracts by ion chromatography with non-suppressed conductivity detection [J]. J Chromatogr A, 2009, 1216(31): 5924–6.
- [16] Ronold O A, Jakobsen F. Trimethylamine oxide in marine products [J]. J Soc Chem Ind, 1947, 66(5): 160–166.
- [17] 马永钧, 杨博. 海洋鱼油深加工技术研究进展 [J]. 中国油脂, 2011, 36(4): 1–6.  
Ma YJ, Yang B. Research advance in deep processing technologies of marine fish oils [J]. China Oils Fats, 2011, 36(4): 1–6.
- [18] 靳肖, 周德庆, 孙永. 鱿鱼丝氧化三甲胺热分解模拟体系的研究 [J]. 食品工业科技, 2011, (3): 106–108.  
Jin X, Zhou DQ, Sun Y. Study on thermal decomposition of trimethylamine-N-oxide model systems of shredded squid [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, 32(3): 106–108.

(责任编辑: 杨翠娜)

#### 作者简介



于 杰, 硕士, 主要研究方向为水产食品营养学。  
E-mail: yujie.91@163.com



王玉明, 博士, 教授, 主要研究方向为水产食品营养学。  
E-mail: wangyuming@ouc.edu.cn