

# 不同前处理方法对南美白对虾中游离甲醛测定的影响

韩冬娇<sup>1</sup>, 李敬<sup>1</sup>, 刘红英<sup>2\*</sup>

(1. 河北农业大学食品科技学院, 保定 071000; 2. 河北农业大学海洋学院, 秦皇岛 066000)

**摘要:** **目的** 利用不同前处理方法对乙酰丙酮法测定南美白对虾(*Penaeus vannamei*)中游离甲醛进行了研究, 从而为水产品的中游离甲醛的提取、检测提供一定的理论基础和技术支持。**方法** 通过对比高氯酸和三氯乙酸分别结合超声波和静置 4 种提取游离甲醛的前处理方法, 对提取效果较好的前处理进行单因素和正交试验进行条件优化。**结果** 高氯酸结合超声波提取游离甲醛的含量测定值最高, 为 1.68 mg/kg, 回收率为 79.53%, 提取效果较好, 对高氯酸浓度、超声波温度和超声波时间进行正交试验进行方差分析表明 3 个因素对游离甲醛提取效果的影响为: 高氯酸浓度>超声波时间>超声波提取温度, 高氯酸浓度影响极显著( $P<0.01$ ), 最佳组合为: 4%高氯酸作为提取剂, 在 30 °C 下超声 35 min。**结论** 本试验研究可作为提取南美白对虾中游离甲醛的较宜的前处理方法。

**关键词:** 南美白对虾; 游离甲醛; 超声波; 前处理

## Effects of different pretreatments on detecting free formaldehyde in *Penaeus vannamei*

HAN Dong-Jiao<sup>1</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, LIU Hong-Ying<sup>2\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;  
2. College of Ocean, Hebei Agricultural University, Qinhuangdao 066000, China)

**ABSTRACT: Objective** To determine the content of 4 different preliminary treatments of extracting free formaldehyde in *Penaeus vannameis* by acetylacetone spectrophotometry, and provide reference for formaldehyde extracting and detecting in fishery products. **Methods** Trichloroacetic acid and perchloric acid combined with ultrasonic and soaking statically to extract free formaldehyde were compared respectively. And then, the single factor experiment and orthogonal experiment were carried out to improve the extracting effect. **Results** It showed that perchloric acid combined with ultrasound treatment reveal the highest content of free formaldehyde, which was 1.68 mg/kg, and the recovery rate was 79.53%. By analysis of variance, perchloric acid concentration had the biggest and significantly ( $P<0.01$ ) influence on free formaldehyde extracting effect, and the influence of ultrasonic time was bigger than ultrasonic temperature. As a result, the most effective method for extracting free formaldehyde in *Penaeus vannamei* had been found out: 4% perchloric acid as

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费(201205031)、秦皇岛市科学技术研究与发展计划项目(2014028024)

**Fund:** Supported by Marine Public and Special Science Research of the State Oceanic Administration (201205031), Science and Technology Research and Development Projects of Qinhuangdao (2014028024)

\*通讯作者: 刘红英, 教授, 主要研究方向为食品安全、水产品加工与贮藏。E-mail: liu066000@sina.com

\*Corresponding author: LIU Hong-Ying, Professor, Ocean College of Hebei Agricultural University, Qinhuangdao 066000, China. E-mail: liu066000@sina.com

extractant, and ultrasound treatment for 35 minutes at 30 °C. **Conclusion** The research can be used as appropriate pretreatment method for extracting free formaldehyde in *Penaeus vannamei*.

**KEY WORDS:** *Penaeus vannamei*; free formaldehyde; ultrasonic; preliminary treatment

## 1 引言

甲醛是一种生物细胞毒性物质, 对人体的嗅觉、肺功能、肝功能、免疫功能等有一定的危害作用。在中国有毒化学品优先控制名单上甲醛高居第二位<sup>[1]</sup>, 世界卫生组织已将甲醛确定为致癌致畸物质, 美国环境保护局将甲醛每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)严格到 0.2 mg/kg(体重)<sup>[2]</sup>, 并且中国食品卫生标准规定不能把甲醛及甲醛化合物作为添加剂添加于食品中。目前研究表明多种水产品中均含有一定量的甲醛, 而游离态甲醛、可逆结合态及不可逆结合态甲醛是食品中甲醛的 3 种存在形式<sup>[3]</sup>, 其中游离态甲醛对人体危害较大。游离态甲醛采用三氯乙酸(10%)或高氯酸(6%)提取即可得到, 可逆结合态甲醛只有在硫酸(1%~40%)介质下通过水蒸气蒸馏法提取方可得到, 不可逆结合态甲醛则尚未获得有效提取方法<sup>[4]</sup>。目前多采用三氯乙酸为提取剂提取游离甲醛, 且方法单一, 郑斌<sup>[5]</sup>曾利用三氯乙酸结合振荡提取得到了多种水产品中游离甲醛, 朱军莉<sup>[6]</sup>采用三氯乙酸 4 °C 下静置提取到鲑鱼中的甲醛, 陈雪昌则先用蒸馏水浸泡样品, 再利用三氯乙酸作为提取剂, 在振荡器中振摇提取游离甲醛<sup>[7]</sup>, 王丹曾比较了 4 种提取食品中甲醛的方法, 表明乙酸锌和亚铁氰化钾作为沉淀剂结合超声波更适合提取食品中的游离甲醛<sup>[8]</sup>, 另研究表明 10%三氯乙酸结合超声波 25 min 提取水产品中甲醛效果较好, 且稳定性好<sup>[9]</sup>, 而高氯酸作为提取剂却有鲜少研究。文章通过对比 10%三氯乙酸和 6%高氯酸分别结合超声波和静置提取这 4 种前处理方法, 并通过正交试验进行条件优化, 从而获得提取南美白对虾中游离甲醛较好的前处理方法, 为水产品中游离甲醛的提取及检测提供一定的技术支持。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

#### 2.1.1 试剂

10%三氯乙酸(TCA)溶液, 6%高氯酸溶液, (37%~40%)甲醛溶液, 碘, 碘化钾, 乙酰丙酮, 乙酸

铵, 冰乙酸, 硫代硫酸钠, 硫酸, NaOH, 蒸馏水, 除蒸馏水外均来自天津市科密欧化学试剂有限公司。

#### 2.1.2 仪器

OKHB-1099B 手持式搅拌机, 佛山市顺德区科欧电器有限公司; KQ5200E 超声波清洗机, 昆山市超声仪器有限公司; XMTD-6000 电热恒温水浴锅, 北京利康达圣科技发展有限公司; 721 型可见分光光度计, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司。

### 2.2 试验方法

#### 2.2.1 样品前处理

南美白对虾流水解冻, 取肌肉 100 g, 加入 200 mL 蒸馏水, 用手持式搅拌机绞碎成匀浆, 分别称取 15 g 匀浆(相当于 5 g 肌肉)于 50 mL 三角瓶中进行以下处理:

处理 1: 加入 10 mL 10%三氯乙酸溶液, 混合均匀, 密封, 超声波提取 20 min, 过滤, 滤液备用;

处理 2: 加入 10 mL 6%高氯酸溶液, 混合均匀, 密封, 超声波提取 20 min, 过滤, 滤液备用;

处理 3: 加入 10 mL 10%三氯乙酸溶液, 混合均匀, 密封, 4 °C 静置 24 h, 过滤, 滤液备用;

处理 4: 加入 10 mL 6%高氯酸溶液, 混合均匀, 密封, 4 °C 静置 24 h, 过滤, 滤液备用。

#### 2.2.2 甲醛标准曲线的绘制

参照 SC/T 3025-2006《水产品中甲醛的测定》<sup>[10]</sup> 绘制甲醛标准曲线。

#### 2.2.3 甲醛的测定

取 5 mL 样品滤液于 25 mL 纳氏比色管中, 0.5 mol/L NaOH 溶液调 pH 至 5.5~7, 再加水至 10 mL, 加入 1 mL 乙酰丙酮溶液, 混匀, 置沸水浴中加热 10 min, 取出用水冷却至室温, 以空白液为参比, 于波长 413 nm 处, 以 1 cm 比色皿进行比色, 同时测定吸光度, 根据标准曲线计算出游离甲醛(free formaldehyde, F-FA)含量, 并做 3 个平行试验。

#### 2.2.4 单因素试验

比较上述 4 种提取方式, 选择提取效果较好的前处理方式, 对提取剂的浓度、提取温度和提取时间进行单因素试验。

### 2.2.5 正交试验

从各单因素试验中选择游离甲醛提取效果较好的3个梯度进行3因素3水平正交试验,优化提取条件。

## 3 试验结果

### 3.1 甲醛标准曲线的绘制

利用乙酰丙酮分光光度法绘制的甲醛标准曲线如图1所示。

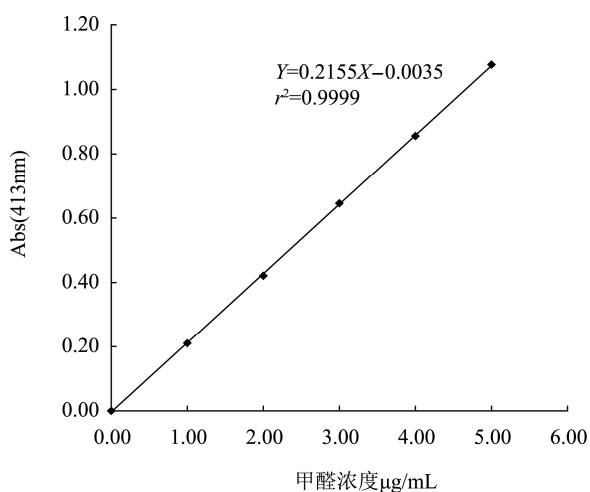


图1 分光光度法测定甲醛的标准曲线

Fig. 1 Standard curve of formaldehyde by spectrophotometry

### 3.2 不同前处理方法测定游离甲醛的含量及精密度试验

4种前处理方法提取游离甲醛的测定结果以及

精密度如表1所示,采用高氯酸作为提取剂分别结合超声波和静置提取的效果均优于三氯乙酸,这是因为高氯酸的酸性较强,更容易使蛋白质的构象发生改变,进而使暴露出大量疏水基团聚集沉淀,因而对蛋白质的沉淀作用更好,利用超声波分别结合高氯酸和三氯乙酸提取游离甲醛的效果均比4℃下静置24h好,超声波可使南美白对虾组织中的游离甲醛快速彻底的溶解到酸液中,比起单纯的静置浸泡,超声波的振动能产生强烈的空化及搅拌作用,加速有效成分溶入溶剂,提高样品中有效成分的得率<sup>[11]</sup>。经方差分析,6%高氯酸结合超声波的前处理方法与其他各组对游离甲醛测定的影响甲醛有显著性差异( $P<0.05$ ),且效果最好,而10%三氯乙酸作为提取剂,超声波和静置提取对游离甲醛测定的影响无显著差异( $P>0.05$ )。

该试验的精密度RSD测定范围在7.35%~11.21%,游离甲醛含量测定范围在0.7~1.68 mg/kg,参照《实验室质量控制规范 食品理化检测》<sup>[12]</sup>对精密度的要求如表2所示,当 $100 \mu\text{g}/\text{kg}<$ 被测组分含量 $<1 \text{ mg}/\text{kg}$ 时, $11\%<\text{RSD}<15\%$ ;当 $1 \text{ mg}/\text{kg}<$ 被测组分含量 $<10 \text{ mg}/\text{kg}$ 时, $7.5\%<\text{RSD}<11\%$ ,因此,该试验的精密度均满足要求。

### 3.3 回收率试验

另取15g南美白对虾肌肉匀浆3份,据6%高氯酸结合超声波提取游离甲醛的测定结果,即5g南美白对虾肌肉中含有8.40 μg游离甲醛,分别加入10、15、20 μg甲醛,进行相同的处理,进行加标回收率试验,结果如表3。

表1 不同前处理方法测定游离甲醛的含量及精密度

Table 1 Formaldehyde content and precision detected under different pre-treatment methods

提取方法 Extracting methods	甲醛浓度(mg/kg) The concentration of formaldehyde (mg/kg)						平均值 Average value (mg/kg)	相对标准偏差 Relative standard deviation
	0.80	0.76	0.84	0.64	0.76	0.64		
TCA+超声 TCA combined with ultrasonic	0.80	0.76	0.84	0.64	0.76	0.64	0.74c	11.21%
高氯酸+超声 perchloric acid combined with ultrasonic	1.80	1.76	1.47	1.60	1.56	1.88	1.68a	9.45%
TCA+静置 Dipping in TCA	0.69	0.69	0.69	0.69	0.81	0.77	0.72c	7.35%
高氯酸+静置 Dipping in perchloric acid	1.07	1.11	0.99	0.91	1.03	0.91	1.00b	8.23%

表 2 实验室内变异系数的参考范围  
Table 2 Reference range of the coefficient of variation in laboratory

被测组分含量 The content of the measured component	实验室内变异系数(CV&RSD)% Coefficient of variation in the laboratory
100 $\mu\text{g}/\text{kg}$	15
1 $\text{mg}/\text{kg}$	11
10 $\text{mg}/\text{kg}$	7.5
100 $\text{mg}/\text{kg}$	5.3

表 3 游离甲醛回收率试验结果  
Table 3 Recovery experiment result of free formaldehyde

甲醛本底值( $\text{mg}/\text{kg}$ ) Background content of formaldehyde( $\text{mg}/\text{kg}$ )	甲醛添加量( $\text{mg}/\text{kg}$ ) Added formaldehyde( $\text{mg}/\text{kg}$ )	测得甲醛含量( $\text{mg}/\text{kg}$ ) The detected formaldehyde content( $\text{mg}/\text{kg}$ )	回收率(%) Recovery(%)	平均回收率(%) Average recovery(%)
1.68	2.00	3.17	74.50	79.53
	3.00	4.12	81.33	
	4.00	4.99	82.75	

由表 3 可见, 利用 6%高氯酸结合超声波提取游离甲醛的回收率在 74.50%~82.75%之间, 平均回收率为 79.53%, 杜永芳等<sup>[13]</sup>采用水蒸气蒸馏法提取不同水产品中游离及可逆结合甲醛含量, 平均回收率范围在 59%~90.76%, 差异较大, 其中南美白对虾甲醛平均回收率为 62.06%, 除了与南美白对虾基质本身有关之外, 甲醛能与氨基酸中的 $-\text{NH}_2$ 作用形成 $-\text{NH}\cdot\text{CH}_2\text{OH}$ 等羟甲基衍生物及西佛碱等<sup>[14]</sup>, 因而加入样品中的甲醛必然会有一部分与南美白对虾肌肉中暴露在外的 $-\text{NH}_2$ 相结合而不能与乙酰丙酮溶液发生显色反应, 导致测得的吸光值偏小, 从而使回收率偏低。Kostuch<sup>[15]</sup>曾在 pH 值为 6.7 鳕鱼碎肉中添加甲醛 100  $\text{mg}/\text{kg}$ , 4  $^\circ\text{C}$ 保存 24 h 后, 约有 60%的甲醛形成不可逆结合态甲醛, 而在 pH 为 4.7 和 8.7 时, 约有 15%和 30%的甲醛形成不可逆结合态甲醛。

### 3.4 检出限

用不加样品的空白试验处理液测定 20 次, 3 倍标准偏差所对应的浓度作为本测定方法的检出限, 结果表明本方法的检出限为 0.043  $\text{mg}/\text{kg}$ 。

### 3.5 单因素试验

由 2.2 可知高氯酸结合超声波提取游离甲醛的效果最好, 其单因素试验设计如表 4。

表 4 单因素试验设计  
Table 4 Single factor experiment design

因素 Factor	水平 Level				
高氯酸浓度(%) The concentration of perchloric acid(%)	4	6	8	10	12
超声波温度( $^\circ\text{C}$ ) Ultrasonic temperature( $^\circ\text{C}$ )	4	10	20	30	35
超声波时间(min) Ultrasonic time(min)	5	15	25	35	45

#### 3.5.1 高氯酸不同浓度对游离甲醛提取效果的影响

高氯酸作为提取剂在提取左旋肉碱、水产品中抗生素、土壤中形态铁等都有应用<sup>[16-18]</sup>, 而在提取水产品中游离甲醛过程中主要起沉淀蛋白的作用。由图 2 可见, 随着高氯酸浓度的升高, 游离甲醛提取量呈下降趋势, 并经方差分析, 4%和 6%高氯酸分别与各组间对提取游离甲醛均有显著影响( $P<0.05$ )。可见 4%高氯酸的酸度即可较好地沉淀蛋白, 而在实际操作过程中, 加入样品中的高氯酸浓度越高, 虾的肌肉组织收缩聚集程度越高, 变硬抱团现象越明显, 反而不利于肌肉组织中的游离甲醛充分接触提取溶剂并快

速溶入其中,因此选择提取游离甲醛效果较好的4%、6%和10%高氯酸进行3个水平正交试验。

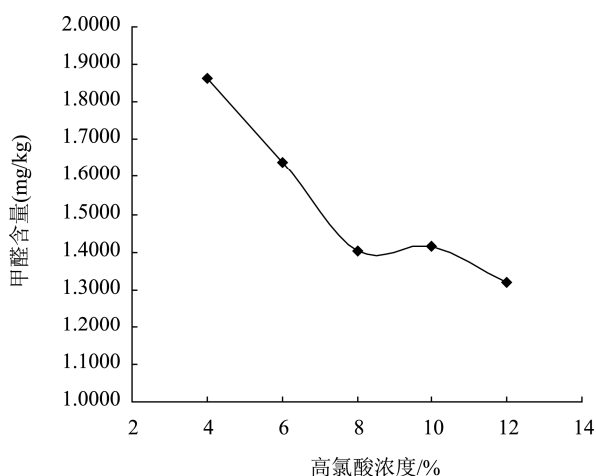


图2 不同浓度的高氯酸对提取游离甲醛的影响

Fig. 2 The effect of different contents of perchloric acid on extracting free formaldehyde

### 3.5.2 不同提取温度对提取游离甲醛的影响

不同提取温度对提取游离甲醛的影响如图3所示,随着温度的升高,游离甲醛的提取量逐渐增加,这可能是由于温度较低影响了肌肉组织中成分运输效率,而温度的升高有利于游离甲醛的渗出。经方差分析,4℃下提取游离甲醛的效果显著低于其它温度的影响( $P < 0.05$ ),10℃与20℃的处理效果没有显著差异( $P > 0.05$ ),但与其他各组间有显著性差异( $P < 0.05$ ),20℃、30℃和35℃对甲醛的提取效果没有显著影响( $P > 0.05$ )。有研究表明在氧化三甲胺热分解体系中,当受热温度超过30℃时,氧化三甲胺微弱分解,产生甲醛和二甲胺,当受热温度超过40℃时,氧化三甲胺有明显分解,并且温度越高,产生的甲醛和二甲胺越多<sup>[19]</sup>,为了避免南美白对虾中氧化三甲胺高温分解产生甲醛给该实验带来正干扰,因而选择10℃、20℃和30℃进行正交试验。

### 3.5.3 超声波提取时间的影响

不同超声波时间对游离甲醛提取效果的影响如图4所示,随着提取时间的延长,游离甲醛提取量有所增长,但提取时间超过35min后,游离甲醛提取量不在增长,这可能由于超声波是通过发射针快速振动所产生大量的热传递到液体中,这部分热量在短

时间内能提高组织内部的温度和压力,提高成分的扩散速率,从而有利于甲醛浸出,然而时间过长,容易导致过多的热量在发射针附近产生许多空穴,阻断超声波的传输,反而使超声效率降低<sup>[20]</sup>。此外,有研究利用三氯乙酸结合超声波提取水产中甲醛,结果表明提取时间超过25min后甲醛提取量不再增加<sup>[9]</sup>,方差分析表明超声波时间对提取游离甲醛的影响不显著( $P > 0.05$ )。结合该试验研究结果,选择15min、25min和35min作为正交试验中提取时间的3个水平。

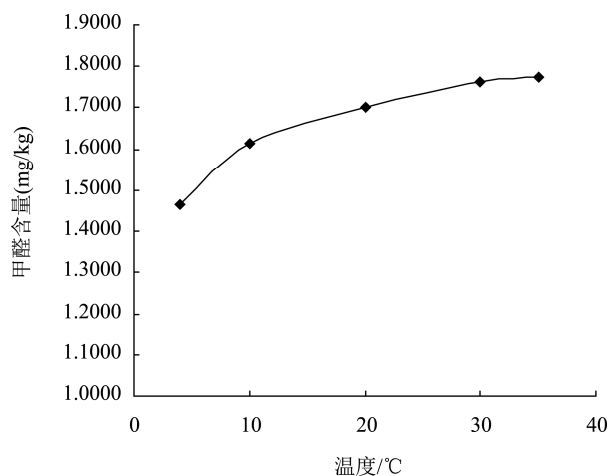


图3 不同温度对提取游离甲醛的影响

Fig. 3 The effect of different temperature on extracting free formaldehyde

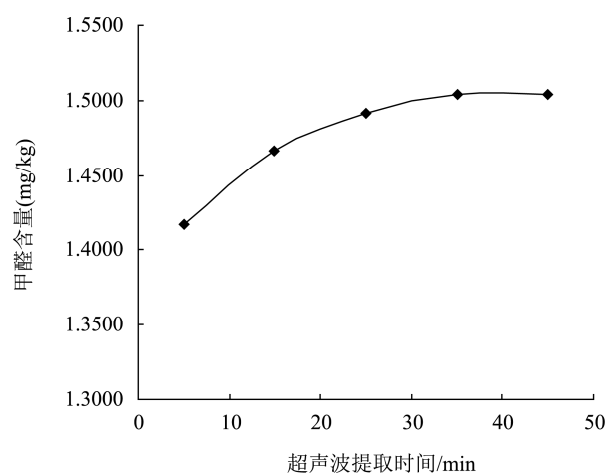


图4 不同时间对提取游离甲醛的影响

Fig. 4 The effect of different time on extracting free formaldehyde

### 3.6 条件优化试验

通过正交实验, 对高氯酸结合超声波提取南美白对虾中游离甲醛的作用条件进行优化。

#### 3.6.1 正交试验设计

参照正交表  $L_9(3^4)$ , 设计 3 因素 3 水平正交试验。

#### 3.6.2 正交试验结果与讨论

正交试验结果如表 6 所示, 根据极差  $r$ , 各因素的影响效应:  $A > C > B$ , 可见提取剂高氯酸的浓度为

最主要因子, 其次为超声波时间, 最后为超声波温度。经方差分析如表 7, 高氯酸浓度对提取游离甲醛影响极其显著( $P < 0.01$ ), 且  $A_1$  为最好水平, 超声波时间和超声波温度的影响不显著( $P > 0.05$ ), 但经多重比较,  $B$  因素和  $C$  因素的第三水平均最好, 因而  $A_1B_3C_3$  即为提取效果较好的组合, 并且处理 3 在 9 个处理中是测得甲醛含量最高的一组, 因而 4%高氯酸作为提取剂, 在  $30\text{ }^\circ\text{C}$  下超声波 35 min 作为提取南美白对虾中游离甲醛的较宜方式。

表 5 正交试验设计表  
Table 5 Orthogonal experimental design

水平 level	A 高氯酸浓度(%) A The concentration of perchloric acid(%)	B 超声波温度( $^\circ\text{C}$ ) B Ultrasonic temperature ( $^\circ\text{C}$ )	C 超声波时间(min) C Ultrasonic time(min)
1	4	10	15
2	6	20	25
3	10	30	35

表 6 游离甲醛提取正交实验结果  
Table 6 The result of orthogonal experimental for extracting free formaldehyde

实验号 Test number	A 高氯酸浓度 A The concentration of perchloric acid	B 超声波温度 B Ultrasonic temperature	C 超声波时间 C Ultrasonic time	甲醛含量(mg/kg) The concentration of formaldehyde (mg/kg)
1	1	1	1	2.07
2	1	2	2	2.11
3	1	3	3	2.40
4	2	1	2	1.50
5	2	2	3	1.72
6	2	3	1	1.58
7	3	1	3	1.61
8	3	2	1	1.54
9	3	3	2	1.63
$K_1$	6.58	5.18	5.19	
$K_2$	4.80	5.37	5.24	
$K_3$	4.78	5.61	5.73	
$k_1$	2.19	1.73	1.73	
$k_2$	1.60	1.79	1.75	
$k_3$	1.59	1.87	1.91	
R	0.60	0.14	0.18	

表7 方差分析表  
Table 7 Analysis table of variance

变异原因 Variable factors	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	P P
A	0.712	2	0.356	186.302	0.005
B	0.031	2	0.015	8.099	0.110
C	0.059	2	0.030	15.529	0.060
误差	0.004	2	0.002		

## 4 结论

文章通过对比高氯酸和三氯乙酸分别结合超声波和静置4种提取游离甲醛的前处理方法,表明高氯酸比三氯乙酸更适合作为游离甲醛提取剂,超声波提取游离甲醛的效果明显高于静置提取,并且高氯酸结合超声波对南美白对虾中游离甲醛的提取效果最好,且回收率较高,稳定性很好,并通过对高氯酸浓度、超声波提取温度和超声波时间进行3因素3水平的正交试验优化提取条件,此3因素的影响效应为:高氯酸浓度>超声波时间>超声波提取温度,高氯酸浓度影响极显著( $P<0.01$ ),获得了提取南美白对虾中游离甲醛的较宜的前处理方法,即4%高氯酸作为提取剂,在30℃下超声提取35 min。该研究为测定水产品中游离甲醛的前处理方法提供了一定的理论基础和技术支持,但对于不同的水产品因考虑到肌肉组织本身的差别对提取方法所带来的干扰和差异,还应进行具体研究。

## 参考文献

- [1] Tang XJ, Bai Y, Duong A, *et al.* Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects [J]. *Environ Int*, 2009, 35(8): 1210–1224.
- [2] WHO. Formaldehyde [M]. *Concise International Chemical Assessment Document 40*, 2002.
- [3] Rehbein H. Formaldehyd in Fischprodukten. II. Nachweis- und Bestimmungsmoeglichkeiten [J]. *Inform fuer die Fischwirtschaft*, 1986, 33(3): 134–141.
- [4] Bechmann IE. Determination of formaldehyde in frozen fish formaldehyde dehydrogenase using a flow injection system with an incorporated gel-filtration chromatography column [J]. *Anal Chimica Acta*. 1996, 320: 155–164.
- [5] 郑斌, 陈伟斌, 徐晓林, 等. 液相色谱法测定水产品中游离甲醛含量的研究[J]. *浙江海洋学院学报*, 2006, 25(4): 354–358.  
Zheng B, Chen WB, Xu XL, *et al.* Determination of free formaldehyde in aquatic products by HPLC [J]. *J Zhejiang Ocean Univ (Nat Sci)*, 2006, 25(4): 354–358.
- [6] 朱军莉. 秘鲁鱿鱼内源性甲醛生成机理及其控制技术研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2009.  
Zhu JL. Study on the formation mechanism and control of intrinsic formaldehyde from squid [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2009.
- [7] 陈雪昌. 几种水产品中游离态甲醛检测方法及其风险评估研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.  
Chen XC. Studies on methods of determination and risk assessment of free formaldehyde in several aquatic products [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [8] 王丹, 王宇, 杨树坤. 测定食品中甲醛的样品前处理方法比较[J]. *疾病监测与控制杂志*, 2009, 3(6): 341–342.  
Wang D, Wang Y, Yang SK. Comparison on the pretreatment method of formaldehyde in food [J]. *Dis Monitor Control*, 2009, 3(6): 341–342.
- [9] 董靓靓, 朱军莉, 励建荣. 水产品中甲醛 HPLC 测定的前处理方法探讨[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(12): 64–67.  
Dong LL, Zhu JL, Li JR. Study on pre-treatment methods for determination of formaldehyde in aquatic products by HPLC [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(12): 64–67.
- [10] SC/T 3025-2006 水产品中甲醛的测定 [J].  
SC/T 3025-2006 The determination of formaldehyde in aquatic products [J].
- [11] 彭川丛, 孔静, 游丽君, 等. 超声波辅助热水浸提香菇多糖响应面优化工艺及其抗氧化活性的研究[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(4): 452–456.  
Peng CC, Kong J, You LJ, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted extraction technology of lentinan

- polysaccharides by response surface methodology and its antioxidant activity [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2011, 27(4): 452–456.
- [12] GB/T27404-2008 实验室质量控制规范 食品理化检测 [J]. GB/T27404-2008 Food physical and chemical testing laboratory quality control specification [J].
- [13] 杜永芳, 柳淑芳, 马敬军, 等. 测定水产品中甲醛含量的分光光度法研究[J]. *中国食品学报*, 2005, 5(3): 91–96.  
Du YF, Liu SF, Ma JJ, *et al.* Study on spectrophotometric method to determining formaldehyde content in aquatic products [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2005, 5(3): 91–96.
- [14] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.  
Wang JY, Zhu SG, Xu CF. *Biological Chemistry* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [15] Kostueh S. Trimethylamine N-oxide demethylase: Its occurrence, properties, and role in technological changes in frozen fish [J]. *Food Chem*, 1982, 9: 213–222.
- [16] 孙娜, 余群力, 曹晖. 超声波辅助高氯酸法提取牛肝中左旋肉碱工艺优化[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(21): 280–285.  
Sun N, Yu QL, Cao H. Optimizing of ultrasonic wave-assisted extraction process of L-carnitine from bovine liver [J]. *Transactions CSAE*, 2012, 28(21): 280–286.
- [17] 李健, 赵臻, 黎晨晨. 水产品中链霉素提取的工艺研究[J]. *化学与粘合*, 2011, 33(6): 72–75.  
Li J, Zhao Z, Li CC. Research on extraction of streptomycin in aquatic products [J]. *Chem Adhesion*, 2011, 33(6): 72–75.
- [18] 孟哲, 吴远远, 刘荣琴, 等. 高氯酸提取土壤中形态铁及其直接测定的研究[J]. *化学世界*, 2008, 9: 523–525.  
Meng Z, Wu YY, Liu RQ, *et al.* Study on the extraction condition of perchloric acid and direct determination of iron species in soil [J]. *Chem World*, 2008, 9: 523–525.
- [19] 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(3): 106–108.
- [20] 刘进杰, 张玉香, 冯志彬, 等. 超声波提取莲花粉多糖工艺[J]. *食品科学*, 2011, 32(18): 44–48.  
Liu JJ, Zhang YX, Feng ZB, *et al.* Optimizing ultrasonic-assisted extraction of lotus pollen polysaccharides [J]. *Food Sci*, 2011, 32(18): 44–48.

(责任编辑: 白洪健)

### 作者简介



韩冬娇, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工与贮藏。  
E-mail: handongjiaohdj@sina.com



刘红英, 教授, 主要研究方向为食品安全、水产品加工与贮藏。  
E-mail: liu066000@sina.com