

鲍鱼内脏中天然牛磺酸的提取与检测

章 骞^{1,2}, 郑福来³, 翁 凌^{1,2}, 张凌晶^{1,2}, 曹敏杰^{1,2*}

(1. 集美大学生物工程学院, 厦门 361021; 2. 福建省水产品深加工工程研究中心, 厦门 361021;
3. 福建省海洋与渔业厅, 福州 350003)

摘要: **目的** 以皱纹盘鲍内脏为原料, 优化高纯度牛磺酸的提取工艺, 并建立用高压液相色谱检测牛磺酸纯度的方法。**方法** 经水煮、乙醇抽提、蒸发浓缩、沉淀、活性炭处理、结晶等步骤, 获得高纯度天然牛磺酸。用高压液相色谱检测牛磺酸纯度的方法为: 色谱柱: Discovery C₁₈; 流动相: 甲醇-0.05 mol/L 乙酸钠缓冲液(pH 5.3) (v/v, 50:50); 流速: 1 mL/min; 检测波长: 330 nm; 柱温: 室温。**结果** 该提取工艺能从 1 kg 鲍鱼内脏中提取得到天然牛磺酸 3.07 g。采用该检测方法, 牛磺酸的出峰时间为 6.037 min, 在 1~20 μg/mL 浓度范围内线性关系良好($R^2=0.9999$), 最低检出限为 0.03 μg/mL, 最低定量限为 0.12 μg/mL, 样品测定的平均回收率为 99.44%(RSD=0.25%), 方法的精密度和稳定性好(RSD<1%), 用该方法检测提取得到的牛磺酸纯度为 96.06%。采用红外光谱法(IR)对提取得到的鲍鱼内脏牛磺酸进一步作结构鉴定, 发现它与标准品的红外特征吸收峰一致。**结论** 获得了高纯度牛磺酸的提取工艺。本方法精密度和稳定性好, 回收率高。

关键词: 鲍鱼内脏; 牛磺酸; 提取; 检测

Extraction and determination of taurine from viscera of abalone (*Haliotis discus hannai*)

ZHANG Qian^{1,2}, ZHENG Fu-Lai³, WENG Ling^{1,2}, ZHANG Ling-Jing^{1,2}, CAO Min-Jie^{1,2*}

(1. College of Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Research Center for Aquatic Products Processing of Fujian Province, Xiamen 361021, China; 3. Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries, Fuzhou 350003, China)

ABSTRACT: Objective The viscera from abalone (*Haliotis discus hannai*) was used as raw materials to isolate natural taurine and an HPLC method for the determination of the purity of taurine was established. **Methods** Natural taurine was isolated by combining methods of high temperature stewing, activated carbon treatment, ethanol extraction, concentration, precipitation and crystallization. The HPLC method for determination of the purity of taurine was performed on a Discovery C₁₈ column eluted with a mobile phase of 50% methyl alcohol and 50% sodium acetate (pH 5.3) at flow rate of 1.0 mL/min at room temperature and detected by a UV detector at 330 nm. **Results** Taurine (3.07 g) was isolated from 1 kg abalone viscera by the extraction method. The retention time of taurine was at 6.037 min on HPLC and the method showed a good linearity within concentration of 1~20 μg/mL with R^2 of 0.9999. The detection

基金项目: 国家海洋局海洋公益性项目(201305015)

Fund : Supported by the Public Science and Technology Research Projects of Ocean (201305015)

*通讯作者: 曹敏杰, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品深加工、蛋白质化学。E-mail: mjcao@jmu.edu.cn

*Corresponding author: CAO Min-Jie, Professor, College of Biological Engineering, Jimei University, No. 43, Yindou Road, Jimei, Xiamen 361021, China. E-mail: mjcao@jmu.edu.cn

limit was 0.03 $\mu\text{g}/\text{mL}$ and the quantitative detection limit was 0.12 $\mu\text{g}/\text{mL}$ with an average recovery of sample of 99.44% (RSD=0.25%). The precision and stability of this method was optimal (RSD<1%). Using this method, the purity of taurine extracted from abalone viscera reached 96.06%. The structure of the obtained taurine was further analyzed by infrared spectrometer and its characteristic absorption peak was consistent with that of the standard taurine. **Conclusion** The extraction method of taurine with high purity was established. The determination method resulted in optimal precision and stability as well as a high recovery of sample.

KEY WORDS: abalone viscera; taurine; extraction; determination

牛磺酸是一种含硫非蛋白质氨基酸, 其化学名为 2-氨基乙磺酸, 是人体所必需的营养素^[1]。研究表明, 牛磺酸有增加细胞抗氧化、抗自由基损伤及抗病毒侵害的能力^[2]。它是良好的护肝剂^[3], 具有增强视力^[4]、促进大脑发育^[5]、解除疲劳的作用^[6], 同时还具有一定的抗肿瘤活性^[7]。牛磺酸被广泛添加于婴幼儿奶粉和功能性食品中^[8]。随着人们生活水平的不断提高和对牛磺酸功能的逐渐认识, 安全性更有保障的天然牛磺酸的市场潜力巨大, 发展前景良好。

随着水产养殖技术的不断进步, 皱纹盘鲍作为福建省重要的经济海珍品, 年产量已达 6 万吨, 位居国内首位。随着鲍鱼产量的逐年增加和鲍鱼加工业的发展, 加工副产物的高值化利用显得尤为重要。在鲍鱼加工过程中, 占其重量 10%~20%的内脏常被丢弃, 这不仅造成资源浪费, 还带来严重的环境污染问题^[9]。研究表明, 鲍鱼内脏中富含牛磺酸^[10], 而目前国内外从鲍鱼内脏中提取牛磺酸的研究报道甚少。本研究以鲍鱼内脏为原料, 建立简易的提取工艺, 以期以低成本获得高纯度天然牛磺酸。

在牛磺酸纯度测定方面, 国内外常用的方法主要有滴定法、分光光度计法、薄层层析法、氨基酸自动分析法和高压液相色谱法等^[11]。其中滴定法、分光光度计法和薄层层析法的误差相对较大; 氨基酸自动分析法价格昂贵; 而高压液相色谱法因其样品预处理简单, 方法精确度及灵敏度高, 测定快速等优点, 在牛磺酸检测中的应用日益广泛^[12-14]。本文采用 OPA 柱前衍生法, 用反相高压液相色谱检测从鲍鱼内脏中提取的天然牛磺酸的纯度, 以期获得一种精确度、稳定性及灵敏度高, 可用于快速检测牛磺酸纯度的方法。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

冷冻的新鲜皱纹盘鲍内脏由福建省诏安东欣食品有限公司提供。

牛磺酸标准品(美国 Sigma 公司); Milli-Q 超纯水(美国 Millipore 公司); HPLC 级甲醇(美国 Fisher Scientific 公司); 邻苯二甲醛(化学纯试剂, 国药集团化学试剂有限公司); 硼酸、氢氧化钠、甲醇、2-巯基乙醇、三水合乙酸钠、冰乙酸、无水乙醇、活性炭、溴化钾(分析纯试剂, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

Agilent 1260 高压液相色谱仪(美国 Agilent Technologies 公司); 傅里叶红外光谱仪(日本 JASCO 公司); 小型台式高速冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司); 大型台式高速冷冻离心机(美国 Beckman 公司); 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂); 恒温水浴锅(德国 Memmert 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 鲍鱼内脏高纯度牛磺酸的制备

提取鲍鱼内脏高纯度牛磺酸的具体步骤为: 向 1 kg 鲍鱼内脏中加入 1 L 水, 于 100 $^{\circ}\text{C}$ 下煮 60 min, 收集汤汁。向汤汁中添加 95%乙醇 2 L, 在室温放置 4 天, 2000 g 离心 20 min 后得到沉淀物和上清液。上清液经旋转蒸发仪浓缩至可溶性固形物含量为 49%。向浓缩液中加入 250 mL 无水乙醇后置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 下静置 12 h, 弃去上清取沉淀。往沉淀中加入 100 mL 80 $^{\circ}\text{C}$ 热水, 溶解后加入 5 g 活性炭 80 $^{\circ}\text{C}$ 搅拌 30 min, 抽滤除去活性炭, 得到滤液, 向上述滤液中加入 3 倍体积的无水乙醇后立即抽滤除杂, 滤液置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 下静置结

晶 24 h 以上, 抽滤后将固形物烘干即得高纯度的牛磺酸晶体。

1.3.2 溶液的配制

(1) 0.2 mol/L、pH 9.5 的硼酸缓冲液

精确称取 1.237 g 硼酸, 溶于 80 mL 水中, 加入适量超纯水溶解后, 用氢氧化钠调节 pH 至 9.5, 超纯水定容至 100 mL。过滤除菌后超声 30 min 排气。

(2) OPA 反应试剂

精确称取 0.05 g 邻苯二甲醛, 溶于 2 mL 甲醇中, 超声破碎后加入 50 μL 2-巯基乙醇, 再加入 8 mL 0.2 mol/L、pH 9.5 的硼酸缓冲液, 放入冰箱中避光保存。

(3) 0.05 mol/L、pH 5.3 的乙酸钠溶液

精确称取 6.804 g 三水合乙酸钠溶于 980 mL 水中, 用冰乙酸调节 pH 至 5.3, 用超纯水定容至 1000 mL, 过滤除菌, 超声 30 min 排气。

(4) 牛磺酸储备液

精确称取牛磺酸标准品 1 g, 用超纯水定容至 100 mL, 得到浓度为 10 mg/mL 的牛磺酸溶液。取 10 mg/mL 的牛磺酸溶液 1 mL, 用超纯水精确定容至 100 mL, 混匀后得到 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的牛磺酸溶液。

(5) 鲍鱼内脏牛磺酸样品溶液

精确称取从鲍鱼内脏中制备得到的牛磺酸样品 1 g, 用超纯水定容至 100 mL, 得到浓度为 10 mg/mL 的牛磺酸溶液。取 10 mg/mL 的牛磺酸溶液 1 mL, 用超纯水精确定容至 100 mL, 混匀后得到 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的牛磺酸样品溶液。然后再稀释得到 5、10、20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的鲍鱼内脏牛磺酸溶液。

(6) 空白溶液

取 Milli-Q 超纯水为空白溶液。

1.3.3 柱前衍生反应

由 Agilent 1260 自动进样器自动从样品瓶中吸取 50 μL 样液, 再从另一样品瓶中吸取 50 μL OPA 反应试剂, 混合 8 次, 混合速度为 90 $\mu\text{L}/\text{min}$, 衍生 2 min 后进样。

1.3.4 色谱条件

色谱柱: Discovery C_{18} (250 mm \times 4.6 mm, 5 μL); 流动相: 甲醇-0.05 mol/L 乙酸钠缓冲液(pH5.3) (50:50); 流速: 1 mL/min; 进样量: 20 μL , 抽取速度 200 $\mu\text{L}/\text{min}$, 排出速度 200 $\mu\text{L}/\text{min}$; 检测波长: 330 nm; 柱温: 室温; 停止时间: 10 min; 后运行时间: 2 min。

1.3.5 牛磺酸标准曲线的绘制

取 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 牛磺酸溶液, 分别配制成浓度为

1、2、5、10、20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的溶液, 经 0.22 μm 滤膜过滤后置于自动进样器的样品瓶中, 柱前衍生反应后注入 Agilent 1260 高压液相色谱仪进行测定。以牛磺酸标准品浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 制作标准曲线。

1.3.6 鲍鱼内脏牛磺酸样品纯度的测定

取 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的鲍鱼内脏牛磺酸溶液, 经 0.22 μm 滤膜过滤后置于自动进样器的样品瓶中, 柱前衍生反应后注入 Agilent 1260 高压液相色谱仪进行测定。记录峰面积, 采用峰面积归一化方法计算鲍鱼内脏牛磺酸样品的纯度。

1.3.7 牛磺酸测定方法的精密度试验

分别取质量浓度为 5、10、20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的鲍鱼内脏牛磺酸样品溶液, 经 0.22 μm 滤膜过滤后置于自动进样器的样品瓶中, 柱前衍生反应后注入 Agilent 1260 高压液相色谱仪进行测定, 每种浓度平行测定 3 次, 记录峰面积。

1.3.8 牛磺酸测定方法的稳定性试验

分别取 3 份质量浓度为 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的鲍鱼内脏牛磺酸样品溶液, 经 0.22 μm 滤膜过滤后置于自动进样器的样品瓶中, 分别于 1、2、3 h 经柱前衍生反应后注入 Agilent 1260 高压液相色谱仪进行测定, 记录峰面积, 观察测定时间对测定稳定性的影响。

1.3.9 牛磺酸测定方法的回收率试验

向 5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 鲍鱼内脏牛磺酸样品溶液(已知牛磺酸含量为 4.95 $\mu\text{g}/\text{mL}$)中分别加入同体积的 1、10、20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的牛磺酸标准品溶液, 各加标量平行测定 3 次, 利用差减法求出牛磺酸的回收率。

1.3.10 红外光谱法鉴定牛磺酸样品

采用红外光谱法(IR)^[15]对提取得到的高纯度鲍鱼内脏牛磺酸样品做进一步的结构鉴定, 并且和牛磺酸标准品的 IR 图谱进行比较, 观察提取得到的鲍鱼内脏牛磺酸和牛磺酸标准品在结构上的差异性。

2 结果与分析

2.1 天然牛磺酸的提取

本研究采用水煮、乙醇抽提、蒸发浓缩、沉淀、活性炭处理、结晶等工艺过程, 从 1 kg 鲍鱼内脏中可获得高纯度天然牛磺酸 3.07 g, 重复性好。该方法不需要大型生产设备, 成本低、方法简便实用。

2.2 牛磺酸标准曲线的绘制

以牛磺酸标准品浓度为横坐标、峰面积为纵坐标, 制得标准曲线(图 1)。20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 牛磺酸标准品色谱图如图 2 所示。

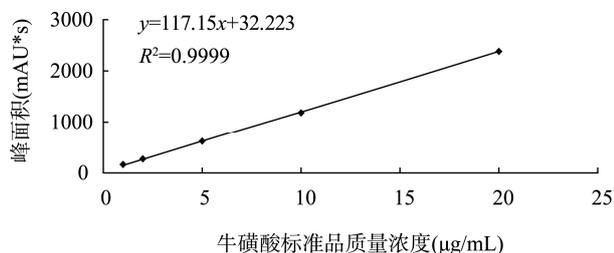


图 1 牛磺酸标准曲线

Fig. 1 Standard curve of taurine

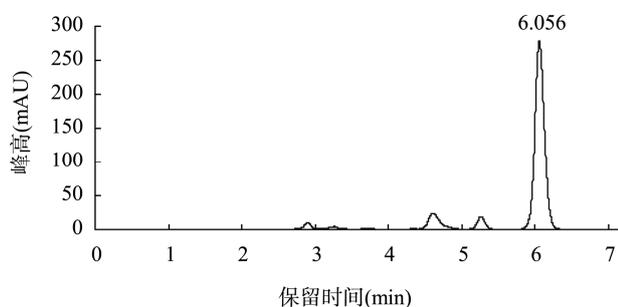


图 2 牛磺酸标准溶液色谱图

Fig. 2 HPLC chromatogram of taurine standard solution

由图 1 可知, 牛磺酸质量浓度在 1~20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围时, 进样浓度与峰面积呈良好的线性关系, 相关系数 $R^2=0.9999$, 回归方程 $Y=117.28X+242.49$ 。测出空白溶液出峰位置的基线噪音水平, 当样品中被测组分峰高为基线噪音 3 倍时, 组分浓度即为该方法的最低检出限, 为 0.03 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。当样品中被测组分峰高为基线噪音 10 倍时, 组分浓度即为该方法的最低定量限, 为 0.12 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

由图 2 可知, 牛磺酸标准品的保留时间为 6.056

min, 出峰较快, 为快速检测提供了基础。

2.3 鲍鱼内脏牛磺酸样品纯度的测定

取 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的鲍鱼内脏牛磺酸溶液, 以 Agilent 1260 高压液相色谱仪测定的结果如图 3 所示。

由图 3 可知, 鲍鱼内脏牛磺酸的保留时间为 6.037 min。经峰面积归一化方法计算得知, 样品纯度达到 96.06%, 说明利用本方法制备得到的鲍鱼内脏牛磺酸是高纯度的。

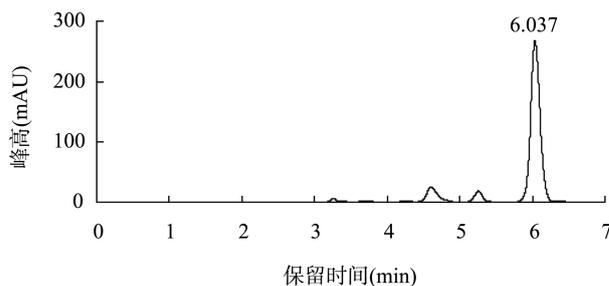


图 3 鲍鱼内脏牛磺酸溶液色谱图

Fig. 3 HPLC chromatogram taurine solution extracted from abalone visceral

2.4 牛磺酸测定方法的精密度试验

表 1 列出了浓度为 5、10、20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的鲍鱼内脏牛磺酸样品的精密度试验结果。

由表 1 可知, 此 3 种浓度的牛磺酸样品 RSD 分别为 0.40%、0.56%、0.26%, 这说明用该方法检测牛磺酸纯度具有很好的精密度。

2.5 牛磺酸测定方法的稳定性试验

表 2 列出了质量浓度为 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的鲍鱼内脏牛磺酸样品溶液放置 1、2、3 h 后的测定结果。

由表 2 可知, 其 RSD 为 0.45%, 说明牛磺酸纯度在 3 h 内稳定性良好, 用该方法检测牛磺酸纯度可确保其稳定性。

表 1 不同浓度牛磺酸样品精密度试验结果($n=3$)

Table 1 Precision of taurine at different concentrations($n=3$)

样品浓度($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	平均峰面积(mAU*s)	标准偏差 SD	相对标准偏差 RSD (%)
5	612.60	2.32	0.40
10	1208.92	6.74	0.56
20	2413.18	6.20	0.26

2.6 牛磺酸测定方法的回收率试验

同一样品分别加入不同质量浓度的牛磺酸标准溶液进行测定, 各加标量平行测定 3 次, 利用差减法求出牛磺酸的回收率, 结果如表 3 所示。

由表 3 可知, 3 种加量的回收率分别为 97.44%、101.72%、99.16%, 此方法的平均回收率为 99.44%, 平均相对标准偏差为 0.25%。这说明用该方法检测牛磺酸的纯度回收率较好。

2.7 红外光谱法鉴定鲍鱼内脏牛磺酸样品

采用红外光谱法(IR)对提取得到的高纯度鲍鱼内脏牛磺酸样品做进一步的结构鉴定, 并且和牛磺酸标准品的 IR 图谱进行比较, 观察提取得到的鲍鱼内脏牛磺酸和牛磺酸标准品在结构上的差异性。IR 图谱如图 4 所示。

由图 4 可知, 鲍鱼内脏牛磺酸样品与牛磺酸标准品的红外特征吸收峰一致, 表明所得到的是高纯度牛磺酸。

表 2 牛磺酸样品的稳定性($n=3$)
Table 2 Stability of taurine ($n=3$)

测定时间/h	峰面积(mAU*S)	平均值(mAU*S)	标准偏差 SD	相对标准偏差 RSD(%)
1	1213.45			
2	1223.91	1219.60	5.47	0.45
3	1221.44			

表 3 牛磺酸样品的回收率($n=3$)
Table 3 Recovery of taurine ($n=3$)

理论值(μg)	平均测定值(μg)	回收率(%)	相对标准偏差 RSD(%)
5.95	5.80	97.44	0.65
14.95	15.21	101.72	0.11
24.95	24.74	99.16	0.00

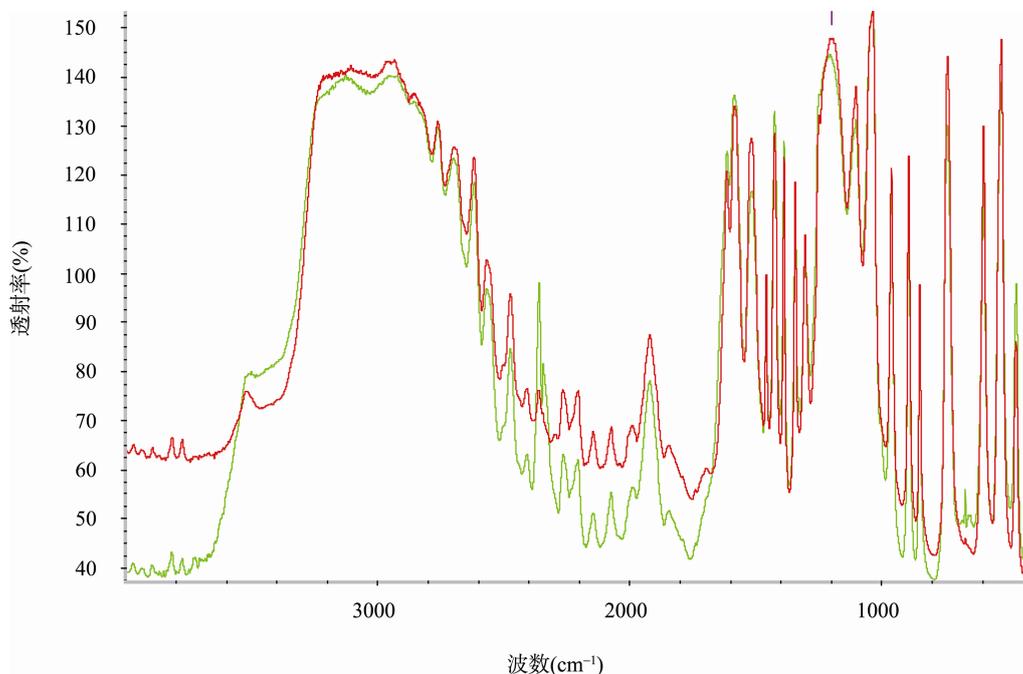


图 4 牛磺酸的红外光谱分析

Fig. 4 IR analysis of taurine

— : 标准品 — : 样品
— : standard — : sample

3 讨论与结论

由于牛磺酸具有多种重要的生理功能, 目前从天然产物中提取牛磺酸的方法研究越来越多。杨广会等^[16]从鱿鱼肝脏中提取得到牛磺酸; 张凌晶等^[17]研究了用膜分离法从牡蛎中纯化牛磺酸的工艺。本文以鲍鱼加工下脚料内脏为原料, 得到了纯度为 96.06% 的牛磺酸, 提取率为 3.07 g/kg。在天然牛磺酸制备方面, 国内企业大多采用离子交换法提取, 但该工艺需要大规模的设备, 成本较高。此外, 离子交换树脂再生需要大量的酸和碱, 对环境的污染大。本研究采用水煮、乙醇抽提、蒸发浓缩、沉淀、活性炭处理、结晶等步骤, 获得了高纯度的天然牛磺酸, 提取方法简易实用、成本低且节能环保。尽管该方法的乙醇消耗量较大, 但可以通过乙醇回收来减少成本, 另外本方法的得率有待进一步优化提高, 以期为鲍鱼加工副产物的高效利用提供有益的参考。

目前, 国内外大多采用 OPA 柱前衍生法测定牛磺酸的含量。使用 OPA 作为柱前衍生反应试剂的优点在于它与牛磺酸衍生反应所需时间短, 然而由于其与牛磺酸生成的牛磺酸衍生物稳定时间较短, 因此准确控制衍生反应时间是测定的关键^[18]。本文采用 Agilent 1260 自动进样器, 能准确控制反应至进样的时间和操作的一致性, 可排除衍生物稳定时间短对测定结果的影响。

目前用高压液相色谱检测牛磺酸含量的研究较多。高加龙等^[19]用高效液相色谱测定马氏珠母贝中的牛磺酸含量, 检测方法的检出限为 0.77 $\mu\text{g/mL}$, 平均回收率为 100.6%, 精密度好(RSD=0.76%)。王丽雅等^[20]建立了测定暗纹东方鲀肉中牛磺酸含量的方法, 此方法的检出限为 1.14 $\mu\text{g/mL}$, 回收率范围 95.35%~98.19%, 样品 6 次重复测定的 RSD=0.51%。蒲秋易等^[21]研究了柱前衍生化高效液相色谱法测定全蝎中游离子牛磺酸的含量, 检测方法的平均回收率为 102.1%, 精密度试验 RSD 为 0.7%, 稳定性试验 RSD 为 3.0%。本研究以 50% 乙酸钠缓冲液(pH 5.3) 和 50% 甲醇作为流动相, 经 OPA 柱前衍生后在 Discovery C₁₈ 色谱柱上分离(流速为 1 mL/min, 检测波长为 330 nm; 柱温为室温)。牛磺酸的出峰时间为 6.037 min, 该方法在 1~20 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好($R^2=0.9999$), 最低检出限为 0.03 $\mu\text{g/mL}$, 最低定量

限为 0.12 $\mu\text{g/mL}$, 平均回收率为 99.44%(RSD=0.25%), 精密度和稳定性好(RSD<0.5%)。该方法拥有比上述检测方法更低的检出限, 更高的回收率, 更好的精密度和稳定性, 所以该方法可以用于精确测定牛磺酸的纯度。采用红外光谱法(IR), 对提取得到的鲍鱼内脏牛磺酸作进一步结构鉴定, 发现它与美国 Sigma 公司的牛磺酸标准品的红外特征吸收峰一致, 进一步证实了本研究获得的牛磺酸是高纯度制品。

参考文献

- [1] Birdsall TC. Therapeutic applications of taurine [J]. *Altern Med Rev*, 1998, 3(2): 128-136.
- [2] Huxtable RJ. Physiological actions of taurine [J]. *Physiol Rev*, 1992, 72(1): 101-163.
- [3] Schuller-Levis GB, Park E. Taurine: new implications for an old amino acid [J]. *FEMS Microbiol Lett*, 2003, 226(2): 195-202.
- [4] Koyama I, Nakamori K, Nagahama T, *et al.* The reactivity of taurine with hypochlorous acid and its application for eye drops [J]. *Exp Med Biol*, 1996, 403: 9-18.
- [5] Liu J, Liu L, Chen H. Antenatal taurine supplementation for improving brain ultrastructure in fetal rats with intrauterine growth restriction [J]. *Neurosci*, 2011, 181(5): 265-270.
- [6] Gwacham N, Wagner DR. Acute effects of a caffeine-aurine energy drink on repeated sprint performance of American college football players [J]. *Sport Nutri Exer Metab*, 2012, 22: 109-116.
- [7] El Agouza IM, Eissa SS, El Houseini MM, *et al.* Taurine: a novel tumor marker for enhanced detection of breast cancer among female patients [J]. *Angiogenesis*, 2011, 14: 321-330.
- [8] 陈秋虹, 莫建光, 黄艳. 天然牛磺酸的提取与应用[J]. *氨基酸和生物资源*, 2011, 33(2): 43-45.
Chen QH, Mo JG, Huang Y. Extraction and application of natural taurine [J]. *Amino Acid Biol Resour*, 2011, 33(2): 43-45.
- [9] 罗晓航. PEF 结合酶法提取鲍鱼脏器粗多糖及其抗氧化活性研究[D]. 福建农林大学, 2012.
Luo XH. Studies on crude polysaccharide extracted from abalone viscera by PEF combined with enzymatic method and its antioxidant activity [D]. Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [10] 苏柳智. 鲍鱼脏器醇溶性物质的营养价值及其抗氧化活性的研究[D]. 福建农林大学, 2012.
Su LZ. Study on trophic value and antioxidant activity of alcohol soluble substances from abalone viscera [D]. Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [11] 陈申如, 胡阳, 倪辉, 等. 高效液相色谱法测定牡蛎中牛磺酸含量 [J]. *中国食品学报*, 2013, 13(2): 193-198.

- Chen SR, Hu Y, Ni H, *et al.* Development of high performance liquid chromatography method for determination of taurine in *Oyster*[J]. *J Chin Ins Food Sci Technol*, 2013, 13(2): 193–198.
- [12] Inoue H, Fukunaga K, Tsuruta Y. Determination of taurine in plasma by high-performance liquid chromatography using 4-(5,6-dimethoxy-2-phthalimidinyl)-2-methoxyphenylsulfonl chloride as a fluorescent labeling reagent [J]. *Anal Biochem*, 2003, 319(1): 138–142.
- [13] Chen Z, Chen B, Yao SZ. High performance liquid chromatography/electrospray ionization-mass spectrometry for simultaneous determination of taurine and 10 water-soluble vitamins in multivitamin tablets [J]. *Anal Chimica Acta*, 2006, 569(1/2): 169–175.
- [14] Wang X, Chi D, Su G, *et al.* Determination of taurine in biological samples by high-performance liquid chromatography using 4-fluoro-7-nitrobenzofurazan as a derivatizing agent [J]. *Biomed Environ Sci*, 2011, 24(5): 537–542.
- [15] 赵学范. 仪器分析教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 67–69.
Zhao XF. Instrument analysis tutorial [M]. Beijing: Beijing University Press, 2003: 67–69.
- [16] 杨广会, 周燕霞, 徐晓莉, 等. 鱿鱼中牛磺酸的提取工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(6): 215–217.
Yang GH, Zhou YX, Xu XL, *et al.* Study on the extraction technology of taurine from squid [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, 31(6): 215–217.
- [17] 张凌晶, 翁凌, 曹敏杰, 等. 膜分离法纯化天然牛磺酸的研究[J]. *集美大学学报(自然科学版)*, 2009, 14(2): 141–144.
Zhang LJ, Weng L, Cao MJ, *et al.* Study on purification of natural taurine using membrane technology [J]. *J Jimei Univ (Nat Sci)*, 2009, 14(2): 141–144.
- [18] 张亮, 刘文, 郑平安. 高效液相色谱法快速测定紫贻贝中的牛磺酸[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(4): 53–56.
Zhang L, Liu W, Zheng PA. Fast determination of taurine in *Mytilus edulis* Linnaeus by high performance liquid chromatography [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(4): 53–56.
- [19] 高加龙, 章超桦, 刘书成, 等. 邻苯二甲酰柱前衍生高效液相色谱法测定马氏珠母贝中牛磺酸含量 [J]. *广东海洋大学学报*, 2007, 27(1): 55–58.
Gao JL, Zhang CH, Liu SC, *et al.* Determination of taurine in *pinctada martensii* by high performance liquid chromatographic after derivatization with ophthalaldehyde [J]. *J Guangdong Ocean Univ*, 2007, 27(1): 55–58.
- [20] 王丽雅, 陶宁萍, 张恒劫. 柱前衍生-高效液相色谱法测定暗纹东方鲀肉中牛磺酸含量[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(10): 159–164.
Wang LY, Tao NP, Zhang HJ. Determination of taurine in *Takifugu obscurus* by pre-column derivatization high performance liquid chromatographic [J]. *Food Ferment Ind*, 2012, 38(10): 159–164.
- [21] 蒲秋易, 张一竹, 张二云, 等. 柱前衍生化高效液相色谱法测定全蝎中游离子牛磺酸的含量[J]. *中国新药杂志*, 2013, 22(2): 230–234.
Pu QY, Zhang YZ, Zhang EY, *et al.* Determination of the free taurine in *Scorpio* with precolumn derivatization [J]. *Chin J New Drugs*, 2013, 22(2): 230–234.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



章骞, 硕士研究生, 主要研究方向为食品工程。
E-mail: 1004873569@163.com



曹敏杰, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品深加工、蛋白质化学。
E-mail: mjcao@jmu.edu.cn