



引用格式:胡凯伦,高荣春,杨丰盛,等. 酶解菲律宾蛤仔水煮液制备牛磺酸工艺研究[J]. 轻工学报,2018,33(1):26-33.

中图分类号:TS254.9 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2018.01.004

文章编号:2096-1553(2018)01-0026-08

酶解菲律宾蛤仔水煮液制备牛磺酸工艺研究

Study on the preparation of taurine from cooking liquid of *Ruditapes philippinarum* by enzymatic hydrolysis

胡凯伦¹,高荣春¹,杨丰盛²,刘文转¹,杨静峰¹

HU Kailun¹,GAO Rongchun¹,YANG Fengsheng²,LIU Wenzhuan¹,YANG Jingfeng¹

1. 大连工业大学 食品学院/国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁 大连 116034;

2. 福建省丰盛食品有限公司, 福建 漳浦 363208

1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, National Engineering Research Center of Seafood, Dalian 116034, China;

2. Fujian Fengsheng Food Co., Ltd., Zhangpu 363208, China

关键词:

菲律宾蛤仔; 水煮液; 牛磺酸; 酶解; 电渗析

Key words:

Ruditapes philippinarum; cooking liquid; taurine; enzymatic hydrolysis; electro dialysis

摘要:研究了酶解菲律宾蛤仔水煮液提取牛磺酸的工艺条件和提高所制备牛磺酸纯度的途径. 结果表明:碱性蛋白酶为最适提取酶;在酶解温度 45 ℃, 酶解时间 3.5 h, 酶解 pH=8.0 的条件下, 牛磺酸纯度为 8.67%, 回收率为 95.80%;酶解产物经电渗析除盐后, 纯度为 21.30%, 回收率为 89.59%;经阳离子树脂交换后, 纯度为 31.18%, 回收率为 83.64%;经乙醇重结晶提纯处理后, 纯度达 97.28%.

收稿日期:2017-11-12

基金项目:福建省海洋经济创新发展区域示范项目(2014FJ17)

作者简介:胡凯伦(1992—),男,辽宁省阜新市人,大连工业大学硕士研究生,主要研究方向为食品资源与综合利用.

通信作者:杨静峰(1979—),男,吉林省四平市人,大连工业大学副教授,博士,主要研究方向为糖化学与糖生物学.

Abstract: This study aim to explored the preparation and purification technologies of taurine from the cooking liquid of *Ruditapes philippinarum* using enzymatic hydrolysis. The results showed that the alkaline protease was the optimum enzyme for extracting taurine. Under the conditions of enzymolysis temperature 45 °C, enzymolysis time 3.5 h and enzymolysis pH = 8.0, the purity and recovery of taurine reached 8.67% and 95.80%, respectively. After removing salt using electrodialysis, the purity and recovery of taurine reached 21.30% and 89.59%, respectively. After elution on cation exchange resin, the purity and recovery of taurine reached 31.18% and 83.64%, respectively. After the ethanol recrystallization, the purity of taurine reached 97.28%.

0 引言

菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)又名杂色蛤,俗称沙蚬子,双壳贝类,隶属于帘蛤科,其产地广泛分布于我国的南北海域。《中国渔业统计年鉴 2017》^[1]显示,2016 年我国海水养殖蛤产量达到 4.17×10^6 t,是仅次于牡蛎的第二大贝类养殖品种。对蛤及其加工副产物的深度开发利用有着极其重要的经济价值。在工业加工过程中,蛤肉经过蒸汽熟化后制成产品,而蛤煮汁往往被废弃,蛤煮汁中含有丰富的牛磺酸^[2],对其进行有效地分离提取是蛤加工废弃物综合利用的一个有效途径。如何有效利用该资源成为业界亟待解决的一个问题。

牛磺酸(Taurine),学名 2-氨基乙磺酸,是一种含硫的非蛋白质结构氨基酸,它作为人体必需的氨基酸之一,具有很强的生物活性^[3-4]。牛磺酸具有增加细胞抗氧化、抗自由基损伤与抗病毒侵害的能力^[5-6],还具有增强视力、促进大脑发育、缓解疲劳、降低胆固醇、抑制胆结石、消炎、镇痛、抗肿瘤等活性^[7-9]。目前,制备牛磺酸的主要途径是化学合成法,但该方法存在原料毒性大、工艺操作复杂、环境污染严重等问题^[10]。我国海洋生物资源丰富,如能高效利用海洋产品加工的下脚料,既可以提高海洋资源利用率,又能够减轻环境污染^[11-13]。从蛤煮汁中制备牛磺酸,不使用有机溶剂,完全利用生物和物理方法进行分离纯化,对充分利用蛤加工副产物以减少环境污染具有重要的现实意义。

鉴于此,本文拟在不破坏蛤肉产品形态的

基础上,以蛤加工副产物水煮汁为原料,筛选出能够大幅提高牛磺酸制品回收率的酶,在适宜酶解条件下生产牛磺酸,利用电渗析和阳离子交换树脂技术脱除其杂质,最后采用乙醇结晶与重结晶技术制备出纯度良好的牛磺酸制品,为制备环境友好型牛磺酸提供一种新的途径。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

菲律宾蛤仔,体长为 2.5 ~ 3.0 cm,购自大连市泡崖市场;牛磺酸标准品,购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司;碱性蛋白酶、中性蛋白酶、胃蛋白酶、木瓜蛋白酶,酶活力均为 200 000 U,购自南宁庞博生物工程有限公司;乙酰丙酮,购自天津市化学试剂一厂;甲醛,分析纯,购自天津科密欧化学试剂开发中心;无水乙酸钠,购自天津市石英钟厂霸州市化工分厂。

1.2 仪器与设备

CR22G 高速冷冻离心机,日本 HITACHI 公司产;UV-2400 型紫外可见分光光度计,上海析普仪器有限公司产;BS224S 型电子天平,美国戴安公司产;HH-S 型水浴锅,巩义市予华仪器有限责任公司产;DHG-9140 电热鼓风干燥箱,上海一恒科技有限公司产;PHS-3 型精密 pH 计,上海鹏顺科学仪器有限公司产;TRPB3010-I-2 型双极膜电渗析设备,北京廷润膜技术开发有限公司产;SY-2000 旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂产;超低温电冰箱(-80 °C),中国海尔集团公司产;HL-2 恒流泵(DT1),上海沪西分析仪器厂产。

1.3 实验方法

1.3.1 标准曲线的绘制方法 将牛磺酸标准品配制为质量浓度 1 mg/mL 的母液, 分别向 1[#]—10[#]试管中加入 0.0 mL, 0.1 mL, 0.2 mL, 0.3 mL, 0.4 mL, 0.5 mL, 0.6 mL, 0.7 mL, 0.8 mL, 0.9 mL, 再用蒸馏水分别补齐至 1.0 mL, 每管各做 3 个平行. 再加入 8 mL 乙酸钠和 1.5 mL 显色剂 (1.2 mL 乙酰丙酮和 0.8 mL 甲醛混合均匀后, 用水定容至 40 mL), 用棉塞封住口, 摇匀, 100 °C 水浴 15 min, 冷却至室温, 400 nm 波长处测定各溶液的吸光度. 以牛磺酸质量浓度/(mg · mL⁻¹) 为横坐标, 以吸光度值/Abs 为纵坐标绘制标准曲线^[14-15].

1.3.2 牛磺酸的粗提 准确称取一定质量蛤体, 按 $m(\text{蛤体}) : V(\text{蒸馏水}) = 1 : 1$ 加入蒸馏水, 100 °C 下煮沸 30 min. 待水煮液冷却至室温, 4000 r/min 离心 15 min, 去除水不溶性杂质, 取上清液待用^[16-17]. 采取酶辅助提取方法, 离心后的水煮液中加入蛋白酶粉末, 加入量为底物蛋白含量的 2.5% (质量分数), 调节溶液至最适 pH 值, 40 °C 水浴 3.5 h. 再置于沸水浴中灭酶 10 min, 冷却, 4000 r/min 离心 15 min, 取上清液, 用 6 mol/L 的 HCl 调节上清液 pH 值至 3.0, 即有酸性蛋白沉淀, 离心分离, 取上清液; 再用 6 mol/L NaOH 调节上清液 pH 值至 10.0, 即有碱性蛋白沉淀, 离心分离, 取上清液. 将上滴液稀释 10 倍后, 经减压浓缩、冻干后得牛磺酸样品, 测定其提取量和纯度^[3].

1.3.3 酶解提取牛磺酸单因素试验 酶种类对牛磺酸提取量的影响: 分别取 30 mL 水煮液加入 1[#]—5[#]小烧杯中, 称取适量中性蛋白酶、碱性蛋白酶、胃蛋白酶、木瓜蛋白酶粉末加入 2[#]—5[#]小烧杯中, 加入量为底物蛋白含量的 2.5% (质量分数), 分别调节溶液 pH 值至各酶最适 pH 值附近, 水浴温度为 40 °C, 水浴时间为 3.5 h. 完成后, 沸水浴中灭酶 10 min, 冷

却, 4000 r/min 离心 15 min, 取上清液, 研究酶种类对牛磺酸提取量的影响.

酶解温度对牛磺酸提取量的影响: 将水煮液混匀, 称取适量蛋白酶粉末, 加入量为底物蛋白含量的 2.5% (质量分数), 溶液 pH 值调至 8.0, 水浴时间为 3.5 h. 经灭酶、冷却、离心处理后取上清液, 研究不同酶解温度 (30 ~ 50 °C) 对牛磺酸提取量的影响.

酶解 pH 值对牛磺酸提取量的影响: 将水煮液混匀, 称取适量蛋白酶粉末, 加入量为底物蛋白含量的 2.5% (质量分数), 水浴温度为 40 °C, 水浴时间为 3.5 h. 经灭酶、冷却、离心处理后取上清液, 研究不同酶解 pH 值 (7.0 ~ 11.0) 对牛磺酸提取量的影响.

酶解时间对牛磺酸提取量的影响: 将蛤水煮液混匀, 称取适量蛋白酶粉末, 加入量为底物蛋白含量的 2.5% (质量分数), 将溶液 pH 值调至 9.0, 水浴温度为 40 °C. 经灭酶、冷却、离心处理后取上清液, 研究酶解时间 (3.0 ~ 5.0 h) 对牛磺酸提取量的影响.

1.3.4 正交试验法优化酶解提取牛磺酸工艺参数 在单因素试验的基础上, 选用适宜蛋白酶进行酶解提取牛磺酸, 再以酶解温度/°C, 酶解 pH 值和酶解时间/h 为变量因素, 设计三因素三水平的正交试验 (见表 1), 确定酶解最优工艺参数.

1.3.5 电渗析对酶解提取牛磺酸纯化效果的影响 将酶解后的 5 L 蛤水煮液用盐酸调节 pH = 5 后注入淡室, 将 5 L 质量分数为 0.25% ~

表 1 牛磺酸提取量的正交试验各因素水平表

Table 1 Various factors of orthogonal test in taurine yield

| 水平 | 酶解温度 A/°C | 酶解 pH 值 B | 酶解时间 C/h |
|----|-----------|-----------|----------|
| 1 | 35 | 7.0 | 3.5 |
| 2 | 40 | 8.0 | 4.0 |
| 3 | 45 | 9.0 | 4.5 |

1.00%的NaCl溶液注入浓室,将5 L蒸馏水注入极室,电压电流调节旋钮归0.控制浓水室、淡水室流量为400~600 L/h,极水室流量为100~200 L/h.待稳定后,调节电压逐渐至10 V,运行5 min后,继续调节电压至20 V,控制电流在10 A以下.随着脱盐过程的进行,电流逐渐下降,每隔5 min记录电流的大小,直至电流不再变化.待物料脱盐结束后,将旋钮调节到电压/电流为0,再关闭整流器和各水泵^[18].将电渗析后的稀释液经减压浓缩、冻干后获得牛磺酸样品,测定牛磺酸纯度和回收率.

1.3.6 离子交换树脂对酶解提取牛磺酸纯化效果的影响 将酶解和电渗析后的蛤水煮液进行阳离子交换柱纯化处理,阳离子交换树脂质量分别为80 g,120 g,160 g,200 g,上样量为1 mL,将溶液流速设定为5 mL/min,每一管停留时间为2 min,收集100管并对其进行1[#]—100[#]编号.收集完成后,根据溶液吸光度(450 nm)判断试管中流出液浓度大小.检测完成后,将每批次收集的牛磺酸浓度较高的流出液合并进行减压浓缩,冷冻干燥后测定其纯度和回收率.

1.3.7 牛磺酸的结晶与重结晶 在结晶反应中浓缩是一个很重要的因素:当溶液浓度过低时,加入3倍体积质量分数为95%乙醇后不能使牛磺酸达到过饱和状态,因此不易析出;当溶液浓度过高时,加入3倍体积质量分数为95%乙醇后溶液中其他组分物质同样达到过饱和,随牛磺酸一同析出,使得牛磺酸纯度降低.经过实测,最终选定浓缩至原体积的2/5.将酶解和电渗析后的5 L蛤水煮液浓缩至原体积的2/5后,加入3倍体积的质量分数95%的乙醇,4℃下醇沉24 h,吸出上清液,将结晶取出,60℃烘干,得到粗品牛磺酸,测定其含量.取10 g粗品牛磺酸,复溶至相同浓度后,再次加入3倍体积的质量分数为95%的乙醇进行重结晶,在4℃

下醇沉24 h,测量其含量.

1.4 计算方法

$$\text{牛磺酸提取量} = \frac{(A - 0.0592) \times V \times n}{0.819m_f}$$

式中, A 为吸光度, V 为蛤水煮液体积/L, n 为稀释倍数, m_f 为新鲜蛤质量/kg.

$$\text{回收率} = \frac{m_{f_1}}{m_{f_2}} \times 100\%$$

式中, m_{f_1} 为提取后总牛磺酸质量/g, m_{f_2} 为提取前总牛磺酸质量/g.

$$\text{牛磺酸纯度} = \frac{m_{f_1}}{m_{f_2}} \times 100\%$$

式中, m_{f_1} 为物质中牛磺酸质量/g, m_{f_2} 为物质总质量/g.

1.5 统计学分析

每个样本测定3次,结果取平均值,采用SPSS 16.0进行显著性分析,差异在0.01水平被认为有组间显著性差异($P < 0.01$).

2 结果与分析

2.1 牛磺酸标准曲线的绘制结果

根据平均吸光度值绘制牛磺酸标准曲线, $y = 0.819x + 0.0592$, $R^2 = 0.9972$,即拟合度趋于1,吸光度与牛磺酸浓度的线性关系良好,能够用于本实验中牛磺酸的定量分析.

2.2 不同酶解条件对牛磺酸提取效果的影响

2.2.1 酶种类对牛磺酸提取量的影响 酶种类对牛磺酸提取量的影响如图1所示(不同字母表示组间有显著性差异($P < 0.01$)).由图1可知,无添加酶、中性蛋白酶、碱性蛋白酶、胃蛋白酶、木瓜蛋白酶处理组之间有显著性差异($P < 0.01$).其中,经碱性蛋白酶水解后,样品中牛磺酸含量为3.08 g/kg,与无添加酶组相比提高1.72倍.碱性蛋白酶的活性中心为丝氨酸,而蛤类丝氨酸含量较为丰富.因此,相比其他3种蛋白酶,碱性蛋白酶酶解辅助提取蛤水煮液中牛磺酸的效果最佳.后续实验均选用碱

性蛋白酶进行酶解提取牛磺酸。

2.2.2 酶解温度对牛磺酸提取量的影响

酶解温度对牛磺酸提取量的影响如图 2 所示. 由图 2 可知,随着温度的升高,牛磺酸提取量先逐渐上升,在 40 ℃ 时达到最大值 2.11 g/kg. 当温度超过 40 ℃ 后,随着温度的升高,牛磺酸提取量呈逐步下降的趋势. 这是因为当温度升高到一定程度时,除酶促反应速度随之增加外,酶蛋白变性和失活的速度也迅速增加,直至完全丧失活力,因此,随着温度的进一步升高,牛磺酸提取量迅速下降. 综合考虑,酶解温度选取 35 ℃, 40 ℃, 45 ℃ 作为正交试验的 3 个水平.

2.2.3 酶解 pH 值对牛磺酸提取量的影响

酶解 pH 值对牛磺酸提取量的影响如图 3 所示. 由图 3 可知,随着 pH 值的增加,牛磺酸提取量先逐渐上升,当 pH 值为 9.0 时,牛磺酸提取量达到最高值 2.03 g/kg. 当 pH 值大于 9.0

时,随着 pH 值的逐渐上升,牛磺酸提取量迅速下降,这表明酶活力受 pH 值的影响较为明显. pH 值不仅能够影响酶的构象,还影响底物的解离状态. 当溶液 pH 值呈强碱性时,严重抑制了酶的活性,进而抑制牛磺酸的提取. 综合考虑,酶解 pH 值选取 7.0, 8.0, 9.0 作为正交试验的 3 个水平.

2.2.4 酶解时间对牛磺酸提取量的影响

酶解时间对牛磺酸提取量的影响如图 4 所示. 由图 4 可知,酶解时间低于 4.5 h 时,随着酶解时间的延长,牛磺酸提取量逐渐上升,在 4.5 h 时达到最高值 1.91 g/kg. 综合考虑,酶解时间选取 3.5 h, 4.0 h, 4.5 h 作为正交试验的 3 个水平.

2.3 酶解提取牛磺酸工艺参数的优化

由单因素试验可知,酶解温度、酶解 pH 值、酶解时间对牛磺酸提取量均有不同程度的影响,将其作为正交试验的 3 个因素进行后续分析. 正交试验设计与结果见表 2, 方差分析见表 3.

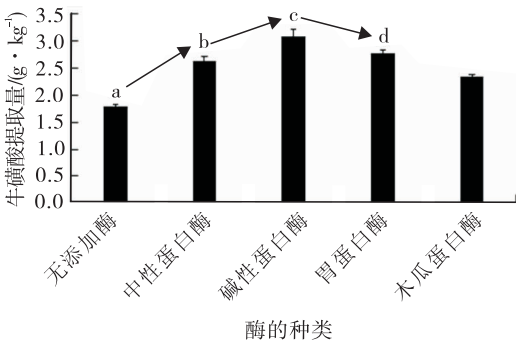


图 1 酶种类对牛磺酸提取量的影响

Fig. 1 Effect of enzyme types on taurine yield

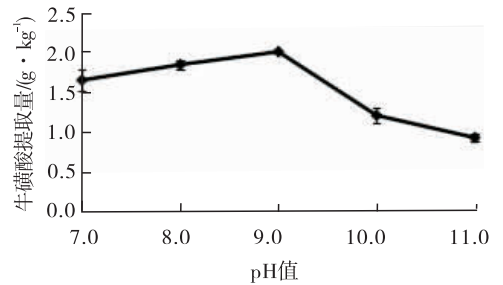


图 3 酶解 pH 值对牛磺酸提取量的影响

Fig. 3 Effect of enzymolysis pH values on taurine yield

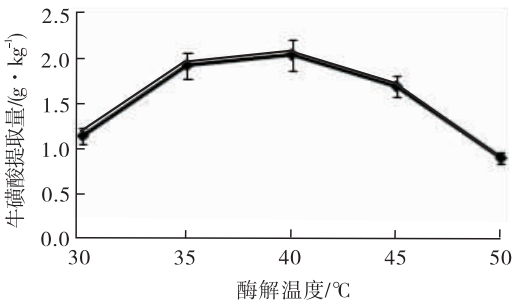


图 2 酶解温度对牛磺酸提取量的影响

Fig. 2 Effect of enzymolysis temperature on taurine yield

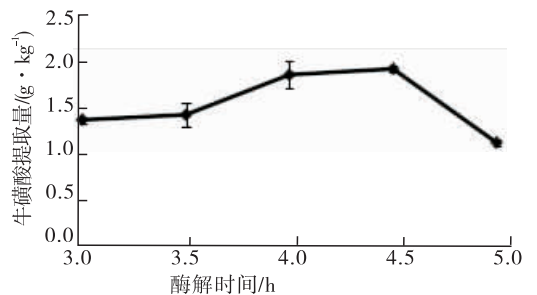


图 4 酶解时间对牛磺酸提取量的影响

Fig. 4 Effect of enzymolysis time on taurine yield

表2 正交试验设计与结果

Table 2 Orthogonal experiment design and result

| 组号 | 酶解温度 A | 酶解 pH 值 B | 酶解时间 C | 空列 | 牛磺酸提取量 / (g · kg ⁻¹) |
|-------|--------|-----------|--------|-------|----------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.149 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1.950 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1.032 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2.203 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1.930 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1.656 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2.282 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2.810 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2.262 |
| K_1 | 4.131 | 5.634 | 5.615 | 5.341 | $T = 17.274$ |
| K_2 | 5.789 | 6.690 | 6.415 | 5.888 | |
| K_3 | 7.354 | 4.950 | 5.244 | 6.045 | $T^2 = 298.39$ |
| R_j | 3.223 | 1.740 | 1.171 | 0.704 | |

表3 方差分析

Table 3 Variance analysis

| 因素 | S | f | 均方 | F | 临界值 | 显著性 |
|----|------|---|-------|------|------------------------|-----|
| A | 1.73 | 2 | 0.865 | 17.3 | $F_{0.05}(2,2) = 19.0$ | * |
| B | 0.51 | 2 | 0.255 | 5.1 | $F_{0.10}(2,2) = 9.0$ | |
| C | 0.24 | 2 | 0.120 | 2.4 | | |
| 误差 | 0.10 | 2 | 0.050 | | | |

极差值反映了各因素影响试验指标的主次关系,极差 R_j 越大,该因素变化时对牛磺酸提取率的影响也就越大.由表2可知,3个因素对牛磺酸提取率影响大小依次为:酶解温度 > 酶解 pH 值 > 酶解时间,最佳工艺条件为 $A_3B_2C_1$,即温度 45 °C,时间 3.5 h, pH = 8.0.由表3可知 $F_A > F_{0.10}(2,2)$,表明因素 A 水平改变对实验结果有较为显著的影响,即从蛤水煮液中提取牛磺酸主要受酶解温度的影响.按最优条件对水煮液进行酶解制备,测得实际酶解产物中牛磺酸纯度为 8.67%,回收率为 95.80%.

2.4 电渗析对酶解提取牛磺酸纯化效果的影响

将酶解后的蛤水煮液经过电渗析处理后,其电流示数随电渗析时间变化的情况如图5所示.在设备运行至 10 min 时,将电压保持在

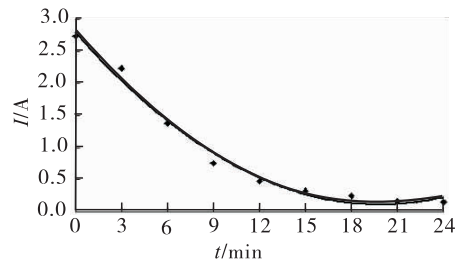


图5 电流示数随电渗析时间变化的情况

Fig. 5 Changes of electric current with electrolysis time

20 V 不再变化,电流示数为 2.73 A,此时开始计时为第 0 min.随着时间的延长,电流不断下降.在第 24 min 时电流降至 0.15 A,且电流示数不再变化.因此,当电压为 20 V,电渗析时间为 24 min 时,样品可达到除盐的目的.经减压浓缩、冻干后测得样品纯度为 21.30%,回收率为 89.59%.在电渗析过程中,由于离子交换膜具有选择透过性,酶解液中的盐类离子在电场的作用下,各自向一定方向移动.淡水室的阴离子透过阴膜进入浓水室,但浓水室内的阴离子不能透过阳膜,故留在浓水室内;阳离子向负极迁移,并通过阳膜进入浓水室,浓水室内的阳离子却不能透过阴膜,故留在浓水室中.因此淡水室中酶解液的盐离子浓度逐渐减小,从而提高了牛磺酸的纯度.

2.5 不同质量的阳离子交换树脂对酶解提取牛磺酸纯化效果的影响

阳离子交换树脂质量对牛磺酸提取量的影响结果见图6.由图6可知,200 g 阳离子交换树脂提取牛磺酸效果最佳.在此条件下,牛磺酸含量为 0.203 mg/g.经进一步计算可得其纯度为 31.18%,回收率为 83.64%.

2.6 牛磺酸的结晶与重结晶纯度

根据 1.3.7 中的方法进行反复乙醇结晶与重结晶能够得到纯度较好的牛磺酸结晶体,经计算测得其结晶纯度为 76.67%,重结晶纯度为 97.28%.

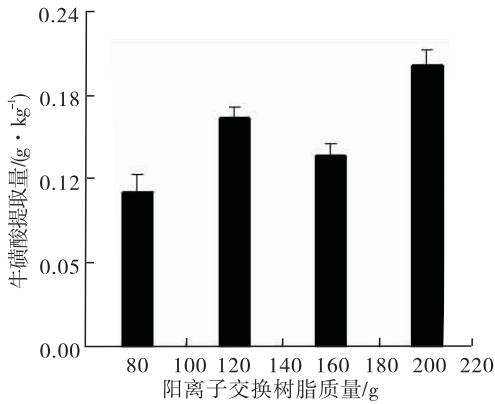


图6 离子交换树脂质量对牛磺酸提取量的影响

Fig. 6 Effect of mass of cation exchange resin on taurine yield

3 结论

以酶辅助提取法从杂色蛤水煮液中提取牛磺酸的过程中,以碱性蛋白酶的酶解效率最优.通过单因素试验与正交试验确定酶解提取牛磺酸最优工艺条件为酶解温度 45 ℃,酶解 pH = 8.0,酶解时间 3.5 h.在该酶解条件下测得牛磺酸样品纯度为 8.67%,回收率为 95.80%;经电渗析脱盐后,样品纯度为 21.30%,回收率为 89.59%;经 200 g 阳离子树脂处理后纯度为 31.18%,回收率为 83.64%;经结晶工艺后纯度达到 76.67%,重结晶后纯度达到 97.28%.本研究在不影响蛤产品生产的前提下,利用副产物蛤水煮液制备天然牛磺酸制品,生产成本低廉,环境友好,可以应用于工业化生产.

参考文献:

[1] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴 2017[M]. 北京:中国农业出版社,2017.

[2] 龚丽芬,陈碧娥,郑志福. 从文蛤提取牛磺酸的工艺[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2003,24(3):300.

[3] 谭乐义,章超桦,薛长湖. 牛磺酸的生物活性及其在海洋生物中的分布[J]. 湛江海洋大学

学报,2000,20(3):75.

[4] 李学梅. 牛磺酸的生理作用[J]. 中国公共卫生,1997,13(7):438.

[5] FRANEONI F, BENNARDINI F, MATTANA A, et al. Plasma and platelet taurine are reduced in subjects with insulin-dependent diabetes mellitus: effects of taurine supplementation [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 1995, 61(5):1115.

[6] 白小琼,孔德义. 牛磺酸研究进展[J]. 中国食物与营养,2011,17(5):78.

[7] HSU Y W, YEH S M, CHEN Y Y, et al. Protective effects of taurine against alloxan-induced diabetic cataracts and refraction changes in New Zealand white rabbits [J]. Experimental Eye Research, 2012, 103:71.

[8] LIN S, HIRAI S, YAMAGUCHI Y, et al. Taurine improves obesity-induced inflammatory responses and modulates the unbalanced phenotype of adipose tissue macrophages [J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2013, 57(12):2155.

[9] HOANG M H, JIA Y, JUN H J, et al. Taurine is a liver X receptor-alpha ligand and activates transcription of key genes in the reverse cholesterol transport without inducing hepatic lipogenesis [J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2012, 56(6):900.

[10] NOOR N A, MOHAMMED H S, KHADRAWY Y A, et al. Evaluation of the neuroprotective effect of taurine and green tea extract against oxidative stress induced by pilocarpine during status epilepticus [J]. The Journal of Basic & Applied Zoology, 2015, 72:8.

[11] 周彩荣,梁欢欢,韩雪巍,等. 牛磺酸合成工艺的改进[J]. 化工学报,2015,66(1):171.

[12] SHAO A, HATHCOCK J. Risk assessment for

- the amino acids taurine, L-glutamine and L-arginine[J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2008, 50(3):376.
- [13] 何骏. 牛磺酸的工艺路线研究[J]. *浙江化工*, 2001, 32(4):46.
- [14] HUANG C, GUO Y, YUAN J, et al. Dietary taurine impairs intestinal growth and mucosal structure of broiler chickens by increasing toxic bile acid concentrations in the intestine[J]. *Poultry Science*, 2014, 93(6):1475.
- [15] LIU Y, ZHANG Z. Extracted the taurine from the oyster with zymolysis and boiled process[C]// *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering*. New York: IEEE, 2011:7584.
- [16] 张辉, 管华诗, 赵志强. 长牡蛎中天然牛磺酸的提取[J]. *海洋科学*, 2005, 29(4):1.
- [17] 刘金双, 白利峰, 周颖, 等. 毛蚶中天然牛磺酸的提取及其对果蝇寿命的影响[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(7):182.
- [18] 张建友, 包玉刚, 林龙, 等. 鳀鱼蒸煮液电渗析脱盐技术[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(4):125.

本刊数字网络传播声明

本刊已许可中国知网、万方数据资源系统、维普网、博看网、超星、中国科技论文在线、中教数据库、91 阅读网等在其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。其相关著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我刊上述声明。