

海虾风味料的开发及应用

高志中¹, 劳敏军¹, 周小敏², 李英^{1*}, 夏晓玖²

(1. 浙江兴业集团有限公司, 浙江舟山 316101; 2. 舟山瑞洋水产品开发有限公司, 浙江舟山 316101)

摘要 [目的]开发高品质的海虾风味料。[方法]根据味料同源原理,以酶解度、感官评定为指标,对新鲜海虾头的酶解工艺进行优化。通过单因素试验,筛选出酶解效果较好的复合蛋白酶和风味蛋白酶,并进行复合酶解正交试验。[结果]虾头原料酶解的最佳反应条件为温度 50 ℃, pH 5.5, 时间 8 h, 加酶量 0.2%, 其中复合蛋白酶与风味蛋白酶的比例为 1:1。此条件下酶解液酶解度为 26.77%, 感官评定无苦味, 虾风味浓。[结论]以该酶解液制备得到的鲜虾粉和深海虾酱味道鲜美, 具有浓厚的天然虾香味。

关键词 虾头; 酶解; 海虾调味品

中图分类号 TS254 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)03-0098-03

Development and Application of Shrimp Flavor Material

GAO Zhi-zhong¹, LAO Min-jun¹, ZHOU Xiao-min², LI Ying^{1*} et al (1. Zhejiang Industrial Group Co., Ltd., Zhoushan, Zhejiang 316101; 2. Zhoushan Ruiyang Aquatic Product R&D Co., Ltd., Zhoushan, Zhejiang 316101)

Abstract [Objective] To develop high quality shrimp flavor materials. [Method] According to the principle of flavour material homologous, using the enzymolysis degree and sensory evaluation as indexes, fresh shrimp head enzymatic hydrolysis process was optimized. Compound protease and flavor protease were selected through single factor experiment, compound enzymolysis was conducted by orthogonal experiment. [Result] The results indicated that the suitable technological conditions for enzymolysis of shrimp head were as follows: temperature 50 ℃, pH 5.5, enzymolysis time 8 h, adding amount of enzymes 0.2%, and the proportion of compound protease and flavourzyme 1:1. Under these conditions, the enzymolysis liquid enzymolysis degree was 26.77%, the sensory evaluation without bitterness, full of shrimp special flavor. [Conclusion] The shrimp powder and deep sea shrimp paste prepared by the enzymolysis liquid are delicious, which can provide strong natural shrimp flavor.

Key words Shrimp head; Enzymolysis; Shrimp spice

鲜味是指烹调原料本身具有的或经加热分解产生的部分氨基酸、核苷酸、酰胺、三甲胺、多肽、有机酸等物质刺激味蕾产生的感觉,是优质蛋白质的滋味。研究发现,鲜味物质参与生物生存所必要的食物选择、摄取、消化、吸收和代谢,因而改善了人类的生活品质。我国虾资源丰富,是重要的鲜味物质来源,虾类在加工过程中会产生大量的虾头、虾皮、虾尾等副产物^[1-2]。虾副产物营养丰富,含有大量蛋白质、氨基酸、矿物质、虾青素、几丁质以及二十二碳六烯酸(DHA)、二十碳五烯酸(EPA)和具有生理调节功能的短肽,其安全性高,能够作为海鲜调味品提升其他食材的鲜味,被广泛应用于功能食品及食品添加剂^[3-5]。

利用蛋白酶解制备海鲜风味料是精深加工虾类副产物的重要途径,可极大地提高虾的经济价值^[6]。酶解技术获得的水解动物蛋白含有丰富的游离氨基酸,可以用于调味品的增香及制备海鲜特色鲜味料。酶法工艺反应条件温和、制作简单,且能最大程度地保留原有风味^[7]。在利用虾头生产调味料方面,任艳艳等^[8]、谢超等^[9]以虾头为原料,利用蛋白酶水解制备调味品;杜云建等^[10]以米曲霉发酵研制虾头酱;任丽娥等^[11]以胰蛋白酶水解虾头壳制备钙结合肽;郑晓杰等^[12]、邓尚贵等^[13]利用粉碎机将虾头粉碎,添加其他配料,制成虾头酱,虾风味浓郁。笔者利用复合蛋白酶和风味蛋白酶对虾头进行酶解,获得鲜味足、无苦味、具有浓郁鲜虾香味的虾酶解液。一方面,酶解液经过米曲霉发酵、增稠、提鲜、

杀菌,得到鲜虾酱;另一方面,酶解液经过复配喷雾干燥成粉,得到鲜虾粉调味料,大大提升了虾的附加值。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料。海虾头原料为浙江兴业公司冷冻加工厂提供的冰鲜对虾虾头,将其二次细切处理以保证原料的均匀一致,分装后置于-18 ℃的冰柜冷冻保存;碱性蛋白酶(Alcalase 2.4 L)、中性蛋白酶(Neutrase 0.8 L)、复合蛋白酶(Protamex)和风味蛋白酶(Flavourzyme 1000 L)均为食品级,购于丹麦诺维信公司;米曲霉购于湖北安琪酵母股份有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.1.2 主要仪器。722 型分光光度计,上海精密科学仪器有限公司;H2050R-1 高速冷冻离心机,长沙湘仪集团;DGG-9620AD 型电热恒温鼓风干燥机,上海森信实验仪器有限公司;EMS-8B 磁力搅拌器,天津市荣誉仪器有限公司;TQ-5 型台式细切机,广东番禺市恒联食品机械厂;W5-100 SP 数显恒温水浴锅,上海申生科技有限公司;KDA-08A 自动凯氏定氮仪,上海听瑞仪器仪表有限责任公司;JA2003 分析天平,上海方瑞仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 酶解工艺流程。虾头用细切机切碎,称取 120 g 虾头碎肉于 500 mL 烧杯中,按 1:2(g:mL) 的料水比加水,搅拌均匀,调节最适 pH,待温度读数稳定后添加 0.2% 底物重量的酶。烧杯置于预先设定好温度的水浴锅中恒温酶解,到设定的时间后,将烧杯加热至 85 ℃ 处理 30 min,之后取出冷却至室温,离心取上清液并测量其体积,分装后置于-20 ℃ 备用。各种蛋白酶分别按照厂家提供的最佳条件进行水解,如表 1 所示。

基金项目 舟山市市级科技计划项目(2013C11006)。

作者简介 高志中(1983—),男,安徽阜南人,工程师,硕士,从事水产品精深加工研究。* 通讯作者,研究员,硕士,从事生物技术研究。

收稿日期 2016-11-20

表 1 各蛋白酶酶活及水解条件

Table 1 Protease activity and hydrolysis conditions

酶种类 Protease type	酶活 Enzyme activity	最适温度 Optimal temperature °C	最适 pH Optimal pH	加酶量 Enzyme dosage (W/W) // %
碱性蛋白酶 Alkali protease	≥2.4 AU/g	55	8.0	0.2
中性蛋白酶 Neutral protease	≥0.8 AU/g	50	6.5	0.2
复合蛋白酶 Complex protease	≥1.5 AU/g	50	6.5	0.2
风味蛋白酶 Flavor protease	≥1 000 LAPU/g	50	6.5	0.2

该试验在 4 种蛋白酶单酶水解的基础上,选出 2 种优质酶类(复合蛋白酶和风味蛋白酶),采用正交试验确定原料最佳的复配酶解方案。选择反应 pH、反应时间、反应温度、酶的添加比例(复合蛋白酶:风味蛋白酶)4 个因素,各因素选择 3 个水平,具体参数如表 2 所示。试验全程均以水解率、感官评定作为指标,判断酶解效果,每组试验均设置 2 组平行。

表 2 复合酶解海虾风味料工艺的正交试验设计

Table 2 Orthogonal experimental design for shrimp flavor material compound enzymatic hydrolysis process

水平 Level	因素 Factor			
	反应 pH(A) Reaction pH	反应时 间(B) Reaction time h	反应温 度(C) Reaction temperature °C	酶的添加比例(D) (复合蛋白酶: 风味蛋白酶) Protease ratio (complex protease: flavor protease)
1	5.5	4	50	1:1
2	6.5	6	55	1:2
3	7.5	8	60	2:1

注:加酶量 1:1 即复合蛋白酶 0.1%,风味蛋白酶 0.1%;加酶量 1:2 即复合蛋白酶 0.1%,风味蛋白酶 0.2%;加酶量 2:1 即复合蛋白酶 0.2%,风味蛋白酶 0.1%

Note:Protease 1:1,namely complex protease 0.1%,flavor protease 0.1%;protease 1:2,namely complex protease 0.1%,flavor protease 0.2%;protease 2:1,namely complex protease 0.2%,flavor protease 0.1%

1.2.2 酶解度测定法。采用凯氏定氮法测定原料总氮含量,采用甲醛电位滴定法测定酶解液中游离氨基态氮的含量。

$$\text{酶解度}(DH) = (N_s - N_0) / (N_{\text{tot}} - N_0) \times 100\%$$

式中, N_0 为初始原液中游离氨基酸态氮含量; N_s 为酶解液中游离氨基酸态氮含量; N_{tot} 为初始原液中总氮含量。

1.2.3 感官评定。将酶解液加热灭菌后,分别采用 5 分制,对酶解液的腥味、苦味、鲜味和色泽等感官质量进行评定,评定标准如表 3 所示。综合得分为 20,分值越高说明酶解液的口感越好。

1.2.4 鲜虾粉和深海虾酱的开发。虾头用细切机切碎,按 1:2(g:mL) 的料水比加水,搅拌均匀,调节最适 pH,添加 0.2% 底物重量的酶。恒温酶解,到设定的时间后,加热 85 °C 处理 30 min,过滤后得酶解液,加入适量的食盐、糊精、味精等,喷雾干燥(进风温度 200 °C,出风温度 90 °C)即可得到鲜虾粉。杀菌后酶解液接种 0.3% 米曲霉,28 °C 恒温发酵 15 d,即可得到深海虾酱。

表 3 酶解液感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation standard of enzymatic hydrolysate

得分 Score // 分	评价项目 Evaluation item			
	苦味 Bitterness	腥味 Fishy smell	鲜味 Palatable taste	虾风味 Shrimp flavor
0~1	有苦味	有腥味	无鲜味	无虾风味
2~3	一般	一般	一般	一般
4~5	无苦味	无腥味	较鲜	虾风味浓

鲜虾粉和深海虾酱的制作工艺流程如下:原料→打浆→蒸煮→酶解→灭酶→过滤→调配→喷雾干燥→鲜虾粉;原料→打浆→蒸煮→酶解→灭酶→过滤→接种米曲霉→发酵→调配杀菌→深海虾酱。

1.2.5 海虾风味料在海虾丸子中的应用。海虾丸子的制备工艺流程如下:鱼糜→斩拌→调配(虾粉虾酱)→成型→蒸煮→冷却→单冻→包装→对虾丸子。

2 结果与分析

2.1 原料营养成分分析 该试验对虾头营养成分分析得出,水分含量 76.73%,总蛋白 11.79%,粗脂肪 1.31%,灰分 8.02%,总糖 0.21%。由此看出,虾头的蛋白质含量很高,占干基比重的一半,具有很高的营养价值。其次为灰分物质,说明其富含矿物质及其他呈味成分,脂肪和糖的含量较低。因此,虾头具有很大的开发利用价值。

2.2 4 种不同蛋白酶酶解效果比较 各酶均按照各自生产说明书的最适反应条件以相同料水比酶解 6.0 h,每隔 1.5 h 取 1 次样,4 种蛋白酶水解虾头原料时氨基态氮含量的变化曲线见图 1,酶解 6.0 h 后各酶解液的感官评价见表 4。

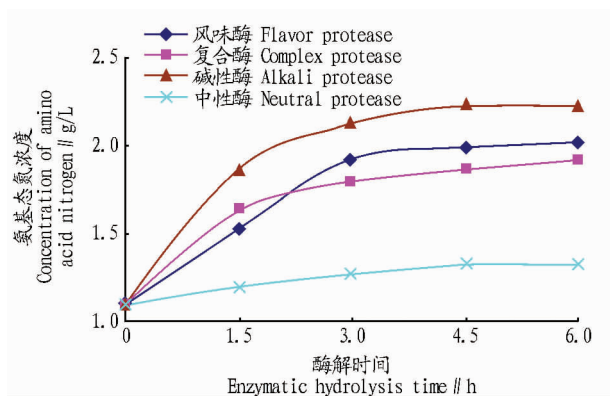


图 1 虾头酶解液中氨基态氮含量的变化曲线

Fig. 1 The change curve of concentration of amino acid nitrogen in prawn head enzymolysis liquid

由图 1 可知,随着酶解时间的增加氨基态氮的含量逐渐增加,当酶解时间达到 6.0 h 时氨基态氮含量均已达到最大值。由表 4 可知,等量虾头经不同蛋白酶酶解 6.0 h,水解度有一定差异。酶解效果最好的是碱性蛋白酶,氨基态氮含量达 2.2 g/L;其次是风味蛋白酶和复合蛋白酶,氨基态氮含量分别是 2.00 和 1.90 g/L;中性蛋白酶的酶解度最低,为 1.30 g/L,其酶解度低可能是因为中性蛋白酶属于内切酶,酶切作用位点在蛋白质分子内部,较难水解。酶解产物的感官评定结果得分最高的是风味蛋白酶酶解液,虾鲜风味足,无苦味和腥味;其次是复合蛋白酶;碱性蛋白酶和中性蛋白酶

酶解液略有苦味或腥味。综上所述,4种不同蛋白酶酶解虾头原料,风味蛋白酶和复合蛋白酶的酶解液有较高的水解度和较好的口感。因此,选择风味蛋白酶和复合蛋白酶继续进行后续工艺研究。

表4 各蛋白酶水解效果

Table 4 The comparison of various enzymatic hydrolysis effect

酶种类 Protease	氨基态氮 Amino acid nitrogen g/100 mL	感官评定 Sensory evaluation 分	结果 Results
风味蛋白酶 Flavor protease	2.00	18	鲜味足,虾风味浓
复合蛋白酶 Complex protease	1.90	16	鲜味重,虾风味浓
碱性蛋白酶 Alkali protease	2.20	14	苦味重
中性蛋白酶 Neutral protease	1.30	13	腥味重

2.3 复合酶水解效果比较 复合蛋白酶和风味蛋白酶的酶解最适条件存在差异,因此正交试验选择了反应 pH、反应时间、反应温度和酶的添加比例(复合蛋白酶:风味蛋白酶)这4个因素,各3个水平,优化复合酶解的工艺条件,见表5。极差分析结果表明,对酶解度水平影响大小的因素依次为反应 pH、反应温度、酶添加比例、反应时间。酶解效果最优的方案为 $A_1B_3C_1D_1$,与酶解度最高的试验组合 $A_1B_1C_1D_1$ 不一致,在这2个组合酶解条件下进行验证试验,得到的酶解液分别测定酶解度,并进行感官评定。

表5 复合酶解海虾风味料工艺的正交试验结果

Table 5 Orthogonal test results of shrimp flavor material compound enzymatic hydrolysis process

试验号 Test No.	因素 Factor				酶解度 Enzymolysis degree//%
	反应 pH(A) Reaction pH	反应时 间(B) Reaction time//h	反应温 度(C) Reaction temperature ℃	酶添加比例(D) Protease ratio	
1	5.5	4	50	1:1	25.89
2	5.5	6	55	1:2	24.08
3	5.5	8	60	2:1	21.36
4	6.5	6	60	1:1	20.01
5	6.5	8	50	1:2	23.63
6	6.5	4	55	2:1	17.29
7	7.5	8	55	1:1	21.36
8	7.5	4	60	1:2	15.03
9	7.5	6	50	2:1	19.10
K_1	51.67	48.93	50.94	50.84	
K_2	49.50	49.79	49.88	49.88	
K_3	48.17	50.61	48.51	48.61	
R	3.60	1.68	2.42	2.23	

经测定, $A_1B_3C_1D_1$ 组合的酶解度为 26.77%, 优于 $A_1B_1C_1D_1$ 组合(酶解度为 26.39%), $A_1B_3C_1D_1$ 组合感官评定得分为 16 分, 虾鲜味足, 虾风味浓郁, 无苦味, $A_1B_1C_1D_1$ 组合感官评定得分为 13 分, 有淡苦味, 鲜味足, 虾风味足。因

此, 确定 $A_1B_3C_1D_1$ 为酶解最优方案, 即复合蛋白酶: 风味蛋白酶为 1:1, 反应温度为 50℃, 反应 pH 5.5, 酶解时间 8 h。

2.4 鲜虾粉和深海虾酱的开发 酶解液经过浓缩喷雾干燥得到鲜虾粉, 其水分为 5.00%、蛋白质含量为 40.50%、氨基态氮含量为 12.90 g/L、盐分为 21.80%, 其他卫生指标均符合国家标准。鲜虾粉虾味纯真自然, 底味鲜甜可口, 可用于虾条、膨化虾片、海鲜面、海鲜水饺等产品中。

酶解液经米曲霉发酵得到深海虾酱, 色泽呈肉粉色, 体态黏稠, 虾味浓郁, 经测定其浓度为 52.30%、蛋白质含量为 25.50%、水分为 47.70%、盐分为 15.30%、氨基态氮含量为 16.50 g/L, 其他卫生指标均符合国家标准。深海虾酱香味浓郁, 用作腌味、蒸、炒任何肉类皆美味可口。虾酱的搭配丰富多样, 既可用于来制作各种烹饪和火锅调味料, 又可用于制作美味小菜, 如鸡蛋蒸虾酱、虾酱炖豆腐、辣椒蒸虾酱等, 可应用范围广。

2.5 海虾风味料在虾肉丸开发中的应用 对虾丸子基本配方: 鱼糜 1000 g、虾粉 15 g、虾酱 15 g、淀粉 230 g、盐 60 g、味精 10 g、I+G 0.5 g、洋葱 20 g、磷酸盐 2 g、水 500 g。经过试味对比, 对虾丸子虾味浓郁、弹性足、口感细腻, 各项指标符合鱼糜制品要求, 具有市场应用潜力。

3 结论

该研究通过比较 4 种不同来源的蛋白酶对虾头的酶解效果, 筛选出酶解效果较好的酶种类: 复合蛋白酶和风味蛋白酶。通过正交试验对反应温度、反应 pH、反应时间和酶添加比例进行复合酶解条件优化, 得出最佳酶解条件为加酶量 0.2% (复合蛋白酶: 风味蛋白酶 1:1), 反应温度 50℃, 反应 pH 5.5, 酶解时间 8 h。极差分析影响水解度的各因素影响大小依次为反应 pH、反应温度、酶添加比例、反应时间。经感官评价, 风味蛋白酶和复合蛋白酶的酶解液有较高的水解度(26.77%), 以及良好的口感。以该酶解液通过微生物发酵制备深海虾酱, 经测定其浓度 52.30%、蛋白质含量 25.50%、水分 47.70%、盐分 15.30%、氨基态氮含量为 16.50 g/L, 营养丰富、味道鲜美。以该酶解液通过浓缩和喷雾干燥得到鲜虾粉, 经测定水分 5.00%、蛋白质含量为 40.50%、氨基态氮含量为 12.90 g/L、盐分 21.80%, 鲜虾粉虾味纯真自然, 虾味足, 口感细腻。鲜虾粉和深海虾酱生产工艺简单, 易操作, 味道鲜美, 有增鲜、调味等作用, 具有巨大的市场潜力和应用价值。

参考文献

- [1] 中研普华. 2015—2020 年中国调味品行业研究分析及市场前景预测报告[R]. 中国产业研究报告网, 2014: 2-5.
- [2] 沈璐璐, 邓尚贵, 赵传举. 虾类加工副产物酶解工艺初探[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2011, 30(3): 249-253.
- [3] 付雪艳, 薛长湖, 宁岩, 等. 中国毛虾酶解多肽降压作用的初步探讨[J]. 海洋科学, 2005, 29(3): 20-24.
- [4] 章超群, 曹文红, 吉宏武, 等. 中国毛虾 ACE 抑制肽的初步研究[J]. 水产学报, 2005, 29(1): 97-120.
- [5] 田申, 李焰杰, 曹文红, 等. 利用虾头内源酶模拟胃肠道消化制备短肽的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 92-96.
- [6] 李冬梅, 李欢, 李世伟, 等. 虾头蛋白酶解对热反应型虾味香精风味特征的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(6): 59-64.

并进行加标试验,结果见表 4。

表 2 5 $\mu\text{g/L}$ 的 As(III)、As(V) 标准溶液在 Princent 色谱柱和汉密尔顿色谱柱中的信噪比和检出限

Table 2 Signal-noise ratio and detection limit of 5 $\mu\text{g/L}$ As(III), As(V) standard solution in Princent column and Hamilton column

柱子型号 Column model	保留时间 Retention time//min	名称 Name	浓度 Concentration $\mu\text{g/L}$	信噪比 Signal-noise ratio	检出限 Detection limit $\mu\text{g/L}$
Princent 色谱柱	1.200	As(III)	5	15.30	0.98
Princent column	3.392	As(V)	5	5.20	2.88
汉密尔顿色谱柱	2.083	As(III)	5	10.10	1.50
Hamilton column	6.717	As(V)	5	2.40	6.20

表 3 Princent 色谱柱和汉密尔顿色谱柱相关系数的比较

Table 3 Comparison of correlation coefficient of Princent column and Hamilton column

柱子型号 Column model	名称 Name	线性回归方程 Linear regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient
Princent 色谱柱	As(III)	$y = 1\ 293x + 904.4$	0.999 961
Princent column	As(V)	$y = 717.1x + 397.2$	0.999 020
汉密尔顿色谱柱	As(III)	$y = 1\ 290x + 381$	0.999 924
Hamilton column	As(V)	$y = 466.9x + 220.8$	0.999 074

表 4 Princent 色谱柱试样加标回收试验结果

Table 4 Recovery test results of Princent column

试样序号 Serial No.	名称 Name	原有量 Original amount $\mu\text{g/L}$	加入量 Added amount $\mu\text{g/L}$	测定总量 Total measured amount $\mu\text{g/L}$	回收率 Recovery %
1	As(III)	6.4	10.0	16.1	97
2	As(V)	4.3	10.0	13.8	95
3	As(III)	ND	10.0	9.8	98
4	As(V)	ND	10.0	9.6	96

由表 4 可知,测定试样回收率均在 95% 以上,其中 As(III) 回收率在 97% ~ 98%, As(V) 回收率在 95% ~ 96%。因此该方法测定食品中 As(III) 和 As(V) 的准确度较高,完全可以满足试验要求。

2.5 部分食品中 As(III)、As(V) 和无机砷的测定结果 为了验证该方法对实际样品的检测,该试验选取了几种代表性的食品在 Princent 色谱柱上进行相关的检测试验,结果如表 5 所示。可以看出,利用 Princent 色谱柱和在线氢化物反应系统的 LC-AFC 方法测得实际样品的不同形态的砷以及总量与实际符合,表明该方法切实可行。该方法可以快速地分辨出 As(III)、As(V) 和无机砷的总量,非常适合日常砷的检测,在后续的食品检测中具有较大的实用性以及应用前景。

3 结论与讨论

该研究探讨了采用 Princent 色谱柱和在线氢化物反应系

(上接第 100 页)

- [7] 韩晓洋,郭小旬,励建荣. 中国对虾调味料风味前体物质酶解制备工艺研究[J]. 中国食品学报,2012,12(4):100-106.
- [8] 任艳艳,张水华. 虾头酶解及反应型虾味香料的研究[J]. 中国食品添加剂,2005(6):38-45.
- [9] 谢超,林琳,唐君. 虾下脚料制备虾味香料的酶解工艺技术研究[J]. 肉类研究,2009,23(9):40-43.
- [10] 杜云建,唐喜国,陈鸣. 发酵调味虾酱的研究[J]. 中国酿造,2006,

表 5 Princent 色谱柱不同试样试验结果

Table 5 Test results of different samples by Princent column

食品 Food	As(III)	As(V)	无机砷总量 Total amount of inorganic arsenic
紫菜 Laver	1.22	0.11	1.33
海带 Kelp	0.53	0.03	0.56
鲑鱼罐头 Dace can	0.13	ND	0.13
金枪鱼罐头 Tunnies can	0.05	ND	0.05

统建立的液相原子荧光光谱法测定食品中不同形态的砷 As(III) 和 As(V)。该方法具有分析时间短、载液及还原剂等试剂消耗量少、精密度高、回收率高等特点,是检测食品中不同形态的无机砷的有力工具,可为各级产品质量监督管理部门提供有力的技术支撑,为广大消费者提供技术保障。

参考文献

- [1] GRAIG P J. Organometallic Compounds in the Environment [M]. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 1986.
- [2] 韦昌金,刘舜欣. 离子色谱氢化物发生原子荧光法测定地下水中砷形态[J]. 现代仪器,2006(4):31-34.
- [3] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定:GB 5009.11—2014 [S/OL]. [2016-08-12]. <http://doc.mbalib.com/view/8407c1cc5dc8a5dd9179331c61ec373d8.html>.
- [4] MATO-FERNÁNDEZ M J, OTERO-REY J R, MOREDA-PIÑEIRO J, et al. Arsenic extraction in marine biological materials using pressurized liquid extraction [J]. Talanta, 2007, 71(2):515-520.
- [5] 陈少波,余雯静,赵玉兰. 食品中砷形态分析及无机砷测定[J]. 农产品加工(学刊),2013(4):80-81.
- [6] 黄亚涛,毛雪飞,杨慧,等. 高效液相色谱原子荧光联用技术测定大米中无机砷[J]. 广东农业科学,2013,40(12):117-121.
- [7] 曹军,于伯华,沈山江,等. 高效液相色谱-原子荧光光谱联用技术测定水产品产地底泥中 4 种砷的形态残留[J]. 检验检疫学报,2013,23(5):53-56.
- [8] 吴焯飞,潘友浩,李荣茂. 高效液相色谱-氢化物-原子荧光联用技术测定海藻中无机砷[J]. 福建水产,2014,4(2):125-131.
- [9] 田雨,蔡漩,郑锡波,等. 高效液相色谱-氢化物发生-原子荧光光谱法分析柱皮中砷形态化合物的检测方法[J]. 化学工程师,2014,28(2):19-21.
- [10] 高鹭,董伟峰,彭心婷,等. 高效液相色谱氢化物发生原子荧光光谱联用检测海藻中砷形态[J]. 食品安全质量检测学报,2015,6(1):145-151.
- [11] 吴思霖,于建,王欣美,等. 高效液相色谱-原子荧光联用技术测定水产品中无机砷[J]. 食品安全质量检测学报,2016,7(7):2658-2662.
- [12] NAM S H, OH H J, MIN H S, et al. A study on the extraction and quantitation of total arsenic and arsenic species in sea food by HPLC-ICP-MS [J]. Microchem J, 2010, 95(1):20-24.
- [13] 刘桂华,汪丽. HPLC-ICP-MS 在紫菜中砷形态分析的应用[J]. 分析测试学报,2002,21(4):88-89.
- [14] 李卫华,王雅珍,刘玉海. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱检测海藻中的砷[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2006,34(4):65-68.
- [15] LIU X P, ZHANG W F, HU Y N, et al. Extraction and detection of organo-arsenic feed additives and common arsenic species in environmental matrices by HPLC-ICP-MS [J]. Microchem J, 2013, 108(3):38-45.

163(10):68-70.

- [11] 任丽娥,黄光荣,蒋家新,等. 胰蛋白酶水解虾头壳制备钙结合肽的工艺条件优化研究[J]. 水产科学,2011,30(2):107-111.
- [12] 郑晓杰,陈力巨,王海粟. 调味虾头酱的研制[J]. 中国乳业,2001(9):18-19.
- [13] 邓尚贵,杨萍,庞艳生,等. 虾头酱的研制[J]. 食品与发酵工业,2002,28(10):80-83.