

扇贝裙边酶解过程中呈味组分的变化规律研究

许劲, 孙丽滢, 郭吉泰

(佛山市海天(高明)调味食品有限公司, 广东佛山 528000)

摘要: 本研究以扇贝裙边为原料, 利用复合蛋白酶对扇贝裙边进行酶解, 在确定扇贝裙边最佳酶解温度的基础上, 探索了扇贝裙边酶解液在不同酶解时间下的呈味特点, 并探讨了不同酶解液中呈味分子的变化规律, 探明不同酶解时间下扇贝裙边酶解液的呈味规律。结果表明不同酶解时间制备酶解液的滋味存在显著性差异, 其中 8 h 的扇贝裙边酶解液鲜味强度最高(9.32 分), 而 12 h 酶解液的苦味(7.33 分)和饱满度(8.33 分)最强。主要是因为酶解时间对酶解液鲜味氨基酸和苦味氨基酸的含量及比例存在较大影响, 当酶解 8 h 时, 扇贝裙边酶解液中鲜味氨基酸比例最高(46.80%), 而苦味氨基酸比例最低(51.67%); 此外, 肽分子分布结果显示 8 h 酶解液中 >5000 u 的肽段(对呈味贡献小)和 <180 u 的肽段(苦涩味明显)比例较低, 可能是 8 h 扇贝裙边酶解液取较好的鲜味和饱满度, 较低苦味的主要原因。本研究通过研究扇贝呈味组分在酶解过程中的变化规律, 为工业上利用扇贝裙边制备高品质呈味基料提供理论基础和指导。

关键词: 扇贝裙边; 酶解; 呈味; 氨基酸; 肽分子量

文章编号: 1673-9078(2019)07-121-126

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.017

Study on the Changes in Taste-active Components during Enzymatic Hydrolysis of Scallop Brim

XU Jin, SUN Li-ying, GUO Ji-tai

(Foshan Haitian (Gaoming) Flavoring & Food Co. Ltd., Foshan 528000, China)

Abstract: In this study, scallop brim was used as the raw material for enzymolysis by a composite protease. On the basis of the determined optimal temperature for the enzymolysis of scallop brim, the taste characteristics of the scallop brim hydrolysates obtained from enzymolysis for different times were studied, and the changing trends of the taste-active components of different hydrolysates and the taste profiles of the scallop brim hydrolysates with different enzymolysis times were further discussed. The results showed that there were significant differences in the taste of the hydrolysates with different enzymolysis times. Among which, the 8-h scallop brim hydrolysate exhibited the highest umami intensity (9.32), while the 12-h hydrolysate showed the highest bitterness (7.33) and greatest fullness (8.33). These results were mainly due to the strong influence of enzymolysis time on the contents and ratio of umami amino acids and bitter amino acids in the hydrolysates. After the enzymolysis for 8 h, the proportion of umami amino acids was the highest (46.80%) whilst the proportion of bitter amino acids was the lowest (51.67%). In addition, the analysis of molecular weight distribution results revealed that the ratio of the total peptides > 5000 u (which made small contribution to taste) to the peptides < 180 u (which exhibited apparent bitter taste) in the 8-h hydrolysate was relatively low, which may be the main reason for the higher umaminess and fullness and lower bitterness of the 8-h scallop brims hydrolysate. This study provided a theoretical basis and guidance for the industrial use of scallop brim to prepare high-quality taste-active stock materials, through studying the changing trend of the taste-active components of scallop enzymatic hydrolysis.

Key words: scallop brim; enzymolysis; taste-active; amino acid; peptide molecular weight

扇贝又名海扇, 是我国沿海主要养殖贝类之一, 属于典型的高蛋白质生物资源, 常见的扇贝养殖种类

收稿日期: 2019-06-07

基金项目: 广东省科技发展专项资金项目公益研究与能力建设类广东省调味食品生物发酵先进技术企业重点实验室建设项目(2017B030302002); 广东省调味食品先进制造工程技术研究中心(gc001886)

作者简介: 许劲(1983-), 男, 工程师, 研究方向: 酿造酱油产品技术及配方研发

有栉孔扇贝、海湾扇贝和虾夷扇贝^[1]。扇贝不但营养丰富, 味道鲜美, 而且还有较多的保健功能, 具有重要的食用价值和经济价值。近年来随着经济的飞速发展, 我国水产品的生产量猛增, 与此同时水产加工过程中所产生的下脚料和副产品也随之增多, 大部分未被有效利用, 不仅造成资源极大浪费, 同时给环境带来严重污染^[2,3]。扇贝裙边, 也称外套膜, 约占活体扇贝的 9%^[4], 是加工扇贝柱后的下脚料, 其营养成分与

扇贝柱接近,目前对裙边进行酶解,制备生物活性肽及开发相关调味品是人们竞相研究的焦点。

扇贝裙边中呈味成分主要是琥珀酸二钠、富含鲜味的氨基酸和呈味肽,琥珀酸二钠溶于水,非常容易从扇贝裙边中获得,而扇贝裙边中的蛋白质需通过酶解将其转变为鲜味氨基酸和呈味肽。由于生物酶解反应条件温和,水解过程容易控制且水解效率高等优点,在对扇贝裙边进行酶解生产调味基料方面有较多的研究。朱麟^[5]等人以扇贝裙边为原料,选用不同酶及酶组合对其进行研究,制备出浓郁海鲜风味的调味品;李爱芬^[6]、纪蓓^[7]等人研究了扇贝裙边的营养成分,并确定了较佳水解条件;曾庆祝^[8]等人研究了混合酶水解能够提高水解液中氨基酸肽氮含量,同时改善水解液风味;孙世广^[4]对裙边酶解液的美拉德反应进行了较详细的研究;张挺^[9]等人采用联合酶解法,以氨基酸态氮含量和感官评定为指标,确定最佳水解条件。

目前以扇贝裙边为原料,通过酶解控制,制备高品质呈味基料主要判断依据为水解程度和感官测评等指标,但涉及扇贝裙边酶解产物呈味分子方面研究较少,本文利用复合蛋白酶对扇贝裙边蛋白质进行酶解,探索酶解过程中呈味分子的变化规律,为进一步从扇贝裙边中获得鲜味呈味成分提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

扇贝裙边购自佛山中南农产品批发市场;复合蛋白酶(酶活力15000 U/g)由海天调味食品股份有限公司提供;甲醇为色谱级。

1.2 主要仪器设备

L-8900 高速氨基酸分析仪,株式会社日立制作所;AKTA 蛋白纯化仪,通用电气公司医疗集团;SuperdexTM Peptide 10/300 GL 色谱柱,通用电气公司医疗集团;BSA124S 万分之一电子天平,德国赛多利斯集团;H2050R 高速离心机,湘仪动力测试仪器有限公司;THZ-82A 恒温振荡器,常州溪华仪器有限公司;KDN-1 型自动凯氏定氮仪,上海科晓科学仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 氨基酸态氮测定

采用甲醛滴定法^[10]进行测定。

1.3.2 扇贝裙边酶解液的全氮测定

总氮测定方法参照微量凯式定氮法 GB 5009.5

-2016^[11],分别取不同酶解条件下贝边酶解液 2 mL,然后按照 GB 5009.5-2016 进行消化和总氮测定。

1.3.3 扇贝裙边酶解液的氨基酸组成及含量测定

分别取 100 μ L 不同酶解时间(4 h、6 h、8 h、10 h、12 h)的扇贝裙边酶解液(55 $^{\circ}$ C,酶添加量为 10 U/g 蛋白质),并稀释至原体积 50~100 倍,再用 4%三氯乙酸溶液稀释 10 倍,在 10000 r/min 下离心 15 min,上清液经 0.22 μ m 微孔膜过滤后备用。

以氨基酸分析仪检测酶解液样品的氨基酸组成,参考叶少文^[12]等人方法并优化。检测条件:色谱柱为磺酸性阳离子交换色谱柱(60 mm \times 4.6 mm, 3 μ m);分离柱温度为 55 $^{\circ}$ C、反应柱温度为 134 $^{\circ}$ C、进样量为 20 μ L、流速为 0.5 mL/min、检测限值为 3 pmol^[11]。

1.3.4 扇贝裙边酶解液肽分子量分布的测定

分别取 100 μ L 不同酶解时间(4 h、6 h、8 h、10 h、12 h)的扇贝裙边酶解液(55 $^{\circ}$ C,酶添加量为 10 U/g pro),并用 0.02 mol/L PBS 缓冲液稀释至蛋白浓度为 5 mg/mL,经 0.22 μ m 微孔膜过滤后备用。

色谱检测条件参考卢韵君^[13]等人方法进行优化后进行检测,检测波长为 214 nm,流速为 0.5 mL/min,单次进样量为 500 μ L,单次分析时间为 80 min。根据标准曲线,通过面积归一化法计算各样品的肽分子量分布。

1.3.5 扇贝裙边酶解液的感官评价

采用定量描述分析法对不同扇贝裙边酶解液进行感官评定^[14,15]。8 名感官评分员均为海天调味食品股份有限公司的专业感官评价人员。评价指标的标准品分别为鲜味(0.35%味精)、苦味(0.08%咖啡因)和饱满度(2.00%鸡汤),分别采用 5 点线性坐标,0(极弱)到 5(极强)对不同酶解时间的扇贝裙边酶解液分别对以上 3 个感官指标进行感官评价。

1.3.6 扇贝裙边酶解液各分子量肽段的感官评价

将扇贝裙边酶解液以此通过 5000 u、3000 u、1000 u、500 u 和 180 u 大小的超滤膜,得到各肽段分离液。分离液中加入食盐使其分离液中食盐含量为 1%,由 8 位经过专业训练的风味感官员分别对不同分子量肽段分离液进行感官品评,并将扇贝裙边酶解液的不同分离液进行感官定性描述。

1.3.7 数据分析

测定数据结果用 $\bar{x}\pm SD$ 表示,并以 $p<0.05$ 标记为显著性评价水平。

2 结果与分析

2.1 酶解温度对扇贝裙边酶解全氮回收率和氨基酸转化率的影响

本研究主要采用复合蛋白酶对扇贝裙边进行酶解,研究其呈味特性。为了获得更好的酶解效率,酶解体系一般在蛋白酶的最佳作用温度下进行酶解。由于不同蛋白酶的最佳酶解温度存在差异,本研究采用的复合蛋白酶由多种蛋白酶复合而成,其最佳酶解温度必然与单一蛋白酶的最佳酶解温度不同。因此,本节将固定其他酶解参数(料液比、蛋白酶添加量和酶解时间)的基础上,研究不同酶解温度对扇贝裙边全氮回收率及氨基酸转化率的影响,筛选最佳酶解温度进行下一步研究,结果如图1所示。

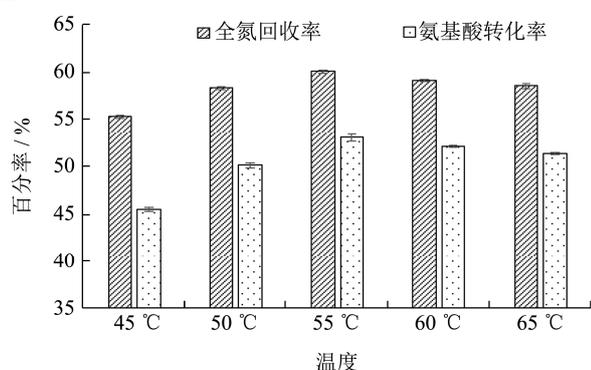


图1 不同温度酶解液的全氮回收率和氨基酸转化率

Fig.1 Total nitrogen recovery and amino acid conversion of hydrolysates from different temperatures

全氮回收率是指经过蛋白酶水解后得到的蛋白质或总氮与原料蛋白质或总氮的比例,该指标常用于检测酶解动植物蛋白制备各种水解蛋白时,反应产物对原料蛋白的利用率^[6]。由图1可知,在其他酶解参数不变的情况下,酶解温度对扇贝裙边的酶解效率存在较大影响,随着温度的升高,酶解液中全氮回收率呈现先上升或下降的趋势,在55℃时获得最高的全氮回收率(60.02%),但继续升高温度,全氮回收率反而下降。这主要是因为蛋白酶作为生物催化剂,也是一种蛋白质,温度过高会造成蛋白酶变性,酶活力降低甚至丧失;而低温下,蛋白酶的酶活性受到抑制,难以发挥最大作用,与普通化学反应一样,在酶的最适温度以下,温度每升高10℃,其反应速度会相应增加1~2倍。氨基酸转化率代表蛋白质在水解过程中,肽键断裂的程度或百分比,体现了蛋白质的水解程度。由图1可知,扇贝裙边酶解液的氨基酸转化率随着温度的升高,呈现先升高后稳定的趋势,并在55℃时获得高达53.00%的氨基酸转化率。表明复合蛋白酶中

含有丰富的外切蛋白酶。

2.2 酶解时间对扇贝裙边酶解液感官特性的影响

扇贝裙边酶解是一个蛋白质被降解的过程,但由于不同酶解时期原料蛋白质结构、酶切位点发生变化,酶解进程会发生改变,导致最终酶解产物的组成也有所不同,因此,不同酶解时间(程度)下获得的酶解产物的感官特性明显不同。接下来将采用复合蛋白酶对扇贝裙边在55℃下酶解不同时间(4h、6h、8h、10h、12h),收集酶解清液进行感官评价,结果如图2所示。

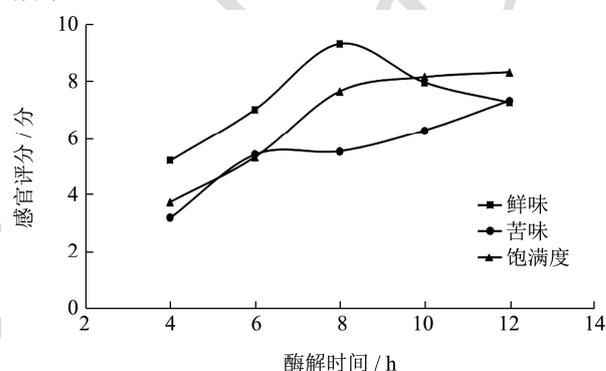


图2 不同酶解时间酶解液的感官评价

Fig.2 Sensory taste of hydrolysates from different times

蛋白质在蛋白酶的作用下,大分子的蛋白质会被降解为小分子肽和游离氨基酸,氨基酸及小分子多肽可呈现酸、甜、苦、咸、鲜多种滋味^[17]。在酶解进程中,不同酶解阶段降解释放的肽和氨基酸含量及种类不同,导致最终酶解液的感官特性也不同。由图2可知,扇贝裙边酶解液的鲜味强度随着时间的延长,呈现先增加后降低的趋势,在酶解8h时可获得最好的鲜味口感;而酶解液的苦味随着酶解时间的增加越来越高;但酶解液的饱满度是随着酶解时间的延长,先增加,接着平稳,然后上升。饱满度是扇贝裙边酶解液入口后的一种浓稠淡薄的感受,一般来说,除了鲜味能赋予一定的饱满度外,低浓度的苦味也能增加口感的饱满度,这可能是酶解10h后,尽管酶解液的鲜味降低,苦味的一直增加使得饱满度口感得分仍然较高的原因。接下来将深入分析探讨不同酶解时间对扇贝裙边酶解液鲜味与苦味的影响原因。

2.3 不同酶解时间对扇贝裙边酶解液的氨基酸组成影响

表1 不同酶解时间酶解液的氨基酸组成

Table 1 Amino acid composition of hydrolysates from different enzymatic hydrolysis time

氨基酸种类	味感	4 h		6 h		8 h	
		含量/(mg/mL)	比例/%	含量/(mg/mL)	比例/%	含量/(mg/mL)	比例/%
天冬氨酸	酸	2.51	6.73	3.19	6.92	5.77	10.00
苏氨酸	微甜	2.86	7.67	2.84	6.16	2.83	4.90
丝氨酸	微甜	2.28	6.11	2.27	4.93	2.34	4.05
谷氨酸	鲜	3.81	10.22	5.79	12.57	7.86	13.62
甘氨酸	甜	1.56	4.18	2.00	4.34	2.84	4.92
丙氨酸	甜	2.50	6.70	3.00	6.51	3.82	6.62
半胱氨酸	-	0.44	1.18	0.66	1.43	0.87	1.51
缬氨酸	苦	2.88	7.72	3.06	6.64	3.18	5.51
蛋氨酸	苦	7.67	20.57	8.67	18.82	8.98	15.56
异亮氨酸	苦	2.04	5.47	2.50	5.43	2.85	4.94
亮氨酸	苦	2.6	6.97	3.05	6.62	3.53	6.12
酪氨酸	微苦	0.89	2.39	1.45	3.15	1.75	3.03
苯丙氨酸	微苦	1.20	3.22	1.48	3.21	2.03	3.52
赖氨酸	苦	1.04	2.79	2.05	4.45	3.41	5.91
组氨酸	苦	0.79	2.12	0.88	1.91	1.07	1.85
精氨酸	微苦	1.36	3.65	2.04	4.43	3.02	5.23
脯氨酸	甜	0.86	2.31	1.15	2.50	1.55	2.69
氨基酸总量		37.29	-	46.08	-	57.71	-
鲜味氨基酸		16.38 ^a	43.93 ^x	20.24 ^b	43.92 ^x	27.01 ^c	46.80 ^y
苦味氨基酸		20.47 ^a	54.89 ^x	25.18 ^b	54.64 ^x	29.82 ^c	51.67 ^y
氨基酸种类	味感	10 h		12 h			
		含量/(mg/mL)	比例/%	含量/(mg/mL)	比例/%		
天冬氨酸	酸	5.83	9.12	5.82	8.79		
苏氨酸	微甜	2.90	4.54	2.86	4.32		
丝氨酸	微甜	2.29	3.58	2.27	3.43		
谷氨酸	鲜	7.81	12.21	7.85	11.86		
甘氨酸	甜	3.1	4.85	3.08	4.65		
丙氨酸	甜	4.05	6.33	4.02	6.07		
半胱氨酸	-	1.00	1.56	1.03	1.56		
缬氨酸	苦	3.27	5.11	3.58	5.41		
蛋氨酸	苦	10.97	17.16	11.94	18.04		
异亮氨酸	苦	2.99	4.68	2.92	4.41		
亮氨酸	苦	4.06	6.35	5.06	7.64		
酪氨酸	微苦	2.10	3.28	2.10	3.17		
苯丙氨酸	微苦	2.67	4.18	2.70	4.08		
赖氨酸	苦	3.48	5.44	3.5	5.29		
组氨酸	苦	1.33	2.08	1.36	2.05		
精氨酸	微苦	4.19	6.55	4.17	6.30		
脯氨酸	甜	1.92	3.00	1.94	2.93		
氨基酸总量		63.94	-	66.19	-		
鲜味氨基酸		27.9 ^c	43.63 ^x	27.84 ^c	42.06 ^x		
苦味氨基酸		35.06 ^d	54.83 ^x	37.33 ^d	56.40 ^z		

表 1 可知,随着酶解时间的延长,扇贝裙边酶解液的氨基酸总量呈现上升趋势,在 4~10 h 内,氨基酸总量迅速上升,10~12 h 内上升减缓。这是因为蛋白酶解程度不是一个恒定的过程,在蛋白酶解开始阶段,酶解体系中氮提取率较低,主要是来自于蛋白原料本身的水溶性蛋白。随后在蛋白酶的不断作用,越来越多蛋白得到迅速的降解,被分解为肽和氨基酸;然而,随着蛋白水解反应的不进行,水解体系的蛋白浓度不断降低,蛋白酶可作用的蛋白底物浓度也随之降低,蛋白水解反应放缓。在所设定的酶解时间内,天门冬氨酸、脯氨酸、丙氨酸、甘氨酸等鲜甜味氨基酸的含量在 10 h 达到最大值,而谷氨酸的含量在 8 h 已达到最大值,这可能是扇贝裙边酶解液在 8~10 h 获得较高的鲜味得分的原因。而蛋氨酸、亮氨酸、赖氨酸、精氨酸等苦味氨基酸的含量随着酶解时间的延长呈上升趋势,这也是导致扇贝裙边酶解液苦味明显的重要原因之一。

扇贝裙边酶解液中氨基酸含量表明随着酶解进程的进行(延长酶解时间),越来越多的蛋白质被降解为

肽或氨基酸,且每种氨基酸的降解程度存在差异。通过分析每种氨基酸占总氨基酸的比例,可以直观了解各呈味氨基酸对整体酶解液感官的影响。由表 1 可看出,扇贝裙边酶解液中呈鲜味氨基酸比例在 4~6 h 时物显著性差异 ($p>0.05$);将延长酶解时间至 10 h,鲜味氨基酸比例显著提升至 46.80% ($p<0.05$);但继续延长酶解时间,鲜味氨基酸的比例反而下降,这与扇贝裙边酶解液感官评价中其鲜味强度随着酶解时间增加呈现先增加后降低趋势相一致。值得注意的是,扇贝裙边酶解液中苦味氨基酸的比例较高,这也是扇贝裙边酶解液苦味强度居高不下的原因之一,但苦味氨基酸的比例并不与酶解时间变化存在明显相关性,在酶解 8 h 时获得的酶解液中苦味氨基酸比例最低 (51.67%),而 12 h 时苦味氨基酸的比例最高 (56.40%)。

2.4 不同酶解时间对扇贝裙边酶解液的肽分

子量分布影响

表 2 不同酶解时间的肽分子量分布及其肽段感官评价

Table 2 The molecular weight distribution of peptides from different hydrolysis times and their sensory evaluation result

肽分子量分布/%	0 h	4 h	6 h	8 h	10 h	12 h	感官特点
>5 ku	99.99 ^a	62.71 ^b	53.92 ^c	42.29 ^d	36.06 ^e	33.81 ^e	味道淡,呈味贡献小
5~3 ku	0.00 ^a	18.65 ^b	20.52 ^c	22.22 ^d	22.45 ^d	22.85 ^d	贡献浓厚感
3~1 ku	0.00 ^a	10.69 ^b	15.56 ^c	25.10 ^d	25.50 ^d	25.45 ^d	能够有明显的弱化咸味或者淡化盐味的效果
1~0.5 ku	0.00 ^a	4.40 ^b	5.00 ^b	5.45 ^b	5.69 ^b	5.62 ^b	能够增加后鲜味
0.5~0.18 ku	0.00 ^a	3.50 ^b	4.90 ^c	4.82 ^c	4.78 ^c	4.65 ^c	能够增加入口的鲜味
<0.18 ku	0.01 ^a	0.05 ^a	0.10 ^a	0.12 ^a	5.52 ^b	7.62 ^b	提升鲜味同时会带来明显的苦味和涩味

注:同竖列不同字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

经过 8 位专业训练的风味品尝人士对不同分子量肽段进行感官品评,感官结果表明(表 2):>5000 u 肽段的酶解液对于呈味的贡献非常小,基本无味;5000~3000 u 肽段的酶解液能够明显贡献浓厚味,使其滋味更加丰富;3000~1000 u 肽段的酶解液具有明显的弱化咸味或淡化盐味的效果;1000~500 u 肽段的酶解液能够增加后鲜味,使其滋味更加绵长;500~180 u 肽段的酶解液能够增加入口的鲜味,增强入口的冲击感;<180 u 肽段的酶解液提升鲜味同时会带来明显的苦味和涩味。

扇贝裙边水提物中主要为水溶性蛋白质,其分子量大于 5000 u。经过蛋白酶的作用,大分子的蛋白质被降解为不同分子量的肽段及氨基酸,随着酶解时间的延长,扇贝裙边酶解液中大于 5000 u 的肽含量由 4 h

时的 62.71%降低为 12 h 的 33.81%。由于蛋白质因分子量较大(超过 5000 u),很难进入味蕾孔口刺激味细胞,因此呈味能力较弱;蛋白质经过酶解后,生成小分子肽或氨基酸容易与味蕾细胞接触产生滋味,因此扇贝裙边经过酶解可呈现出明显的,滋味,但由于不同水解时间获得的酶解液中小于 5000 u 肽段的比例有所不同,使得扇贝裙边各时间酶解液滋味表现不一致。随着酶解时间的延长,酶解液中 5000~3000 u 肽段含量越来越高,但当酶解时间达到 8 h,继续延长酶解时间,该肽段含量并未呈现显著性差异。以上研究发现 5000~3000 u 肽段的酶解液能够明显贡献酶解液浓厚味,因此使得酶解液的饱满度较好。此外,肽分子量分布结果表明,随着酶解的进行,酶解液中小于 180 u 的肽段含量越来越高($p>0.05$),结合感官特点来分析,

<180 u 的肽段在提升鲜味同时会带来明显的苦味和涩味, 推测与小分子的苦味肽生成有较大关系^[16-19]。

3 结论

本文在确定扇贝裙边最佳酶解温度的基础上, 研究了扇贝裙边酶解液在不同酶解时间下的呈味特点, 并深入探讨了不同酶解液中氨基酸组成(含量及组成)和肽分子量分布变化规律, 探明不同酶解时间下扇贝裙边酶解液的呈味规律。结果表明采用复合蛋白酶在 55 °C 下酶解扇贝裙边可获得较高的全氮回收率和氨基酸转化率, 并证实了不同酶解时间制备酶解液的滋味呈现显著性差异。经氨基酸组成及肽分子量分布检测结果分析, 表明酶解不同时间对酶解液鲜味氨基酸和苦味氨基酸的含量及比例存在较大影响, 当酶解 8 h 时, 扇贝裙边酶解液中鲜味氨基酸比例最高, 而苦味氨基酸比例最低; 此外, 从肽分子量分布情况来看, 8 h 的酶解液中 >5000 u 的肽段(对呈味贡献小)和 <180 u 的肽段(苦涩味明显)总比例较低, 尤其是 <180 u 的肽段比例低。这可能是 8 h 扇贝裙边酶解液取较好的鲜味和饱满度, 较低苦味的主要原因。本文通过研究扇贝呈味组分在酶解过程中的变化规律, 为工业上利用扇贝裙边制备高品质呈味基料提供理论基础和方法的指导。

参考文献

- [1] 赵谋明, 赵忠强, 等. 食物蛋白酶解理论与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017
ZHAO Mou-ming, ZHAO Qiang-zhong, et al. Theory and Technology of Enzymatic Hydrolysis of Food Protein [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2017
- [2] 徐丹萍, 过雯婷, 郑振霄, 等. 干贝的营养评价与关键风味成分分析[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 218-226
XU Dan-ping, GUO Wen-ting, ZHENG Zhen-xiao, et al. Nutritional evaluation and analysis of the volatile flavor component of dried scallop [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(12): 218-226
- [3] 李翔, 邢增通, 吴达洋, 等. 扇贝加工的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(10): 123-125
LI Xiang, XING Zeng-tong, WU Da-pan, et al. Progress of research on scallop processing [J]. Food Research and Development, 2013, 34(10): 123-125
- [4] 孙世广. 栉孔扇贝裙边酶解物美拉德反应产物特性研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2016
SUN Shi-guang. Characterization of maillard reaction products of hydrolysates from scallop *Chlamys farreri* skirt [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2016
- [5] 朱麟, 农绍庄, 张丽丽, 等. 酶解扇贝裙边制成调味料的研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(1): 85-87
ZHU Lin, NONG Shao-zhuang, ZHANG Li-li, et al. The utilization of hydrolyzed scallop edge in condiment [J]. Food Research and Development, 2008, 29(1): 85-87
- [6] 李爱芬, 孙祖莉, 陈敏, 等. 扇贝边蛋白资源酶法水解条件的优化[J]. 生态科学, 2002, 21(4): 324-326
LI Ai-fen, SUN Zu-li, CHEN Min, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis conditions for scallop edge protein resources [J]. Ecological Science, 2002, 21(4): 324-326
- [7] 纪蓓, 冷鹏飞. 扇贝边酶法水解工艺的优化[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2006, 22(6): 27-30
JI Bei, LENG Peng-fei. Research on the technology about enzymic hydrolysis of scallop brim [J]. Journal of Qiqihar University, 2006, 22(6): 27-30
- [8] 曾庆祝, 汪涛, 叶于明. 扇贝边酶解技术研究[J]. 中国水产科学, 2001, 8(1): 64-68
ZENG Qing-zhu, WANG Tao, YE Yu-ming. Hydrolyzing technique for scallop skirt using enzymes [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2001, 8(1): 64-68
- [9] 张挺, 陈林, 黎海彬, 等. 酶解扇贝裙边制备海鲜风味肽的研究[J]. 广州城市职业学院学报, 2011, 5(1): 52-55
ZHANG Ting, CHEN Lin, LI Hai-bin, et al. Study on preparation of seafood flavor peptides with enzymatic hydrosis of scallop skirt [J]. Journal of Guangzhou City Polytechnic, 2011, 5(1): 52-55
- [10] GB 18186-2000, 酿造酱油[S]
GB 18186-2000, Fermented Soy Sauce [S]
- [11] GB 5009.5-2016, 食品中蛋白质的测定[S]
GB 5009.5-2016, Determination of Protein in Food [S]
- [12] 叶少文. 氨基酸自动分析仪测定游离 L-半胱氨酸[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 8: 3129-3133
YE Shao-wen. Determination of free L-cysteine by automatic amino acid analyzer [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 8: 3129-3133
- [13] 卢韵君. 鱼源胶原蛋白肽酶解工艺及其分子量检测方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016
LU Yun-jun. Enzymatic hydrolysis and molecular weight detection method of fish collagen peptide [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016

(下转第 12 页)