

蚕蛹蛋白水解前处理和水解产物鲜味增效的研究

杨波¹, 刘小玲¹, 赵谋明^{1,2}

(1. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)(2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 研究超声波、亚硫酸钠、酸等前处理对蛋白酶解效率的影响, 并探讨谷氨酸钠和氯化钠对酶解产物的滋味的影响。实验表明, 低浓度的亚硫酸钠处理能改善对蚕蛹蛋白的水解效果, 而酸和超声波处理能显著提高蚕蛹蛋白回收率和水解度, 其中超声处理效果最佳, 使蚕蛹蛋白回收率和水解度分别提高 5% 和 3% ($p < 0.05$)。前处理都能提高酶解产物中小肽的比例, 分子量小于 1000 u 的小肽占 75% 以上, 1000~3000 u 的组分占 20% 左右; 其中超声前处理, 分子量小于 1000 u 的小肽从占比 66.44% 提高到 77.58%。通过单纯形重心设计, 探讨在酶解液中氯化钠和谷氨酸钠的相互作用对滋味的影响。氯化钠和谷氨酸钠的浓度对超声前处理的酶解产物的鲜味有显著性的影响 ($p < 0.05$), 当味精和氯化钠的浓度分别是 0.37% 和 0.85% 时, 鲜味增效达到最佳值, 感官评分为 7.3 分。

关键词: 蚕蛹蛋白; 酶解; 前处理; 呈味特性

文章编号: 1673-9078(2017)6-222-227

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.6.033

Effects of Pretreatment on Silkworm Pupae Protein Hydrolysis and Umami-taste Enhancement of Hydrolysates

YANG-Bo¹, LIU Xiao-ling¹, ZHAO Mou-ming^{1,2}

(1. Institute of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

(2. School of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effects of ultrasonic, sodium sulfite, or acidification treatment on the efficiency of silkworm pupae protein enzymatic hydrolysis were studied, and the effects of monosodium glutamate (MSG) and sodium chloride on the taste of the hydrolysate were investigated. The results showed that a low-concentration sodium sulfite treatment could significantly improve the hydrolysis of silkworm pupae protein, while acidification and ultrasonic treatments could significantly enhance the protein recovery and degree of hydrolysis. Among these, the ultrasonic treatment produced the optimal results and increased the protein recovery and degree of hydrolysis by 5% and 3% ($p < 0.05$), respectively. All pretreatments improved the proportion of small peptides in the enzymolysis products, and low-molecular-weight (<1000 u) peptides and components with a molecular weight of 1000~3000 u accounted for more than 75% and approximately 20%, respectively. With ultrasonic pretreatment, the proportion of low-molecular-weight (<1000 u) peptides was increased from 66.44% to 77.58%. The effect of interactions between MSG and sodium chloride in the hydrolysate on its taste was examined using a simplex-centroid design. The results revealed that sodium chloride and MSG concentrations could significantly influence the umami taste of the enzymatic hydrolysate ($p < 0.05$). When the concentrations of MSG and sodium chloride were 0.37% and 0.85%, respectively, the optimal umami-taste enhancement was achieved, and the sensory score was 7.3 points.

Key words: silkworm pupa protein; enzymolysis; pretreatment; flavor characteristics

蚕蛹 (Silkworm pupa) 为蚕蛾科昆虫家蚕蛾 (*Bombyx mori* L.) 的蛹。蚕蛹中蛋白质含量为

收稿日期: 2016-05-29

基金项目: 广西“食品生物技术”八桂学者团队项目 (T3050099202); 广西高校“广西特色农产品精深加工及安全控制”重点实验室项目 (G3050097903); 广西优势农产品低值蛋白结构特性及控制酶解关键技术的研究 (2016GXNSFEA380003)

作者简介: 杨波 (1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 赵谋明 (1964-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向: 食品生物技术、蛋白质化学与工程、海洋资源综合利用等

59.9%~66.2%, 其中 8 种人体必需氨基酸含量高达 42.2%, 必需氨基酸与非必需氨基酸质量之比为 0.73, 与 WHO/FAO (世界卫生组织/联合国粮食及农业组织) 提出的参考蛋白模式非常接近, 是一种优良的蛋白质, 是卫生部批准的“作为普通食品管理的食品新资源名单”中唯一的昆虫类食品^[2]。蚕蛹在中国、泰国、印度、韩国以及日本自古以来就是用作肥料、动物饲料、食材和药材^[1]。

蚕蛹是桑蚕工业的主要副产物。我国蚕蛹资源丰富, 年产干蚕蛹 30 万 t 以上, 约占全世界总产量的

80%^[2]。国内外针对蚕蛹的开发利用开展大量研究工作。研究表明,蚕蛹蛋白的水解产物具有抗氧化、抗疲劳、降血压、抗肿瘤和提高人体免疫等重要生理功能^[1]。蛋白酶解产物通常具有滋味口感活性,具有滋味大多是小分子肽,增加酶解产物中的小分子肽含量也是制备好的呈味基料的前提。此外,蚕蛹蛋白可通过酶解制备出一种较好的呈味基料^[3]。然而,在利用蚕蛹蛋白酶解制备呈味基料时,存在酶解效率低、酶添加量大、成本高的技术难题。本文选用缫丝蚕蛹为原料,由于缫丝过程蚕茧经过烘烤、碱液和热水煮制等工艺,导致其蛋白质发生一定程度的变性,对其酶解产生一定影响。其次蚕蛹蛋白属于酪蛋白一类,主要为球蛋白,可部分溶解于水,通过可能提高蛋白溶出率的前处理,提高酶解效率。为此,本论文重点探讨可能的前处理条件是否对改善蚕蛹蛋白的酶解敏感性,从而提高蚕蛹的酶解效率,选择最佳前处理条件探讨酶解产物的肽分子量分布、谷氨酸钠和氯化钠在酶解产物中的相互作用,以期蚕蛹蛋白酶解产物制备呈味基料应用提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料

活蛹缫丝工艺流程:鲜茧→烘茧(75~80℃、4~5h)→选茧→真空渗透(真空度85~95kPa、进水温度60℃左右)→煮茧(95~100℃、7min)→缫丝→缫丝后的湿蛹→干燥(80~85℃、4~5h)。

试验用的蚕蛹经过以上过程,缫丝后的干蚕蛹由宜州市宏基茧丝有限公司提供。Flavorzyme(14000 U/g pro)、Alcalase 2.4L(100000 U/mL pro,丹麦诺维信公司);其他常用试剂均为分析纯。

PHS-25 数显 pH 计(上海精密科学仪器有限公司);KDN-2C 型定氮仪(上海纤检仪器有限公司);SHA-C 水浴恒温振荡器(江苏生金坛市恒农仪器厂);ST16R 高速冷冻离心机(广州源起生物科技有限公司);Tim840 自动电位滴定仪,雷迪美特公司,另有其他常规玻璃仪器。

1.2 方法

1.2.1 缫丝蚕蛹前处理

实验室制备脱脂蚕蛹粉:缫丝后干蚕蛹进行分拣,粉碎,然后过 80 目筛,取蚕蛹粉置于 8 倍体积的石油醚中,60℃的水浴摇床中浸提 4 h,除去溶剂后,80℃烘箱烘干备用。得到的脱脂蚕蛹粉的蛋白含量为 73.14%,油脂含量为 4.57%,总糖含量为 3.63%。

超声前处理:将脱脂蚕蛹粉配制成 10% (m/V) 的悬浊液,将脱脂蚕蛹粉分别在 160、240、320、480、560、640、720 和 800 W 的超声功率下处理 10 min。

添加 Na₂SO₃ 前处理:将脱脂蚕蛹粉分别加入到 0.01、0.1、0.5、1 g/100 mL 的亚硫酸钠溶液中,配制成 10% (m/V) 的悬浊液,沸水浴下加热 20 min。

酸处理:将脱脂蚕蛹粉分别加入到 0.05、0.1、0.2 mol/L 的盐酸溶液中,配制成 10% (m/V) 的悬浊液,常温下搅拌 20 min。

1.2.2 酶解条件

称取脱脂蚕蛹粉 10 g,配制成 100 mL 的悬浊液,经前处理后用循环冷却水冷却至室温,用 2M NaOH 调节 pH 至 7.0,按酶配比 0.5% Flavorzyme (70 U/g) + 0.5% Alcalase 2.4L (500 U/g) 加入(以脱脂蚕蛹粉重量计),置于 50℃水浴摇床恒温震荡酶解,酶解 7 h 后,将酶解液于沸水浴中灭酶 10 min,离心(5000 r/min, 10 min),过滤,取所得滤液分析。

1.2.3 蛋白回收率(Protein Recovery)的测定

总氮含量测定:采用凯氏定氮法。

$$\text{蛋白回收率} = \frac{\text{上清液中蛋白质的质量}}{\text{原料中蛋白质的质量}} \times 100 = \frac{n \cdot f}{m \cdot p} \times 100$$

式中, f 表示每克酶解液中蛋白质含量, g; n 表示酶解液质量, g; m 表示脱脂蚕蛹粉质量, g; p 表示脱脂蚕蛹粉蛋白质质量分数, %。

1.2.4 水解度(DH)的测定

氨基氮含量测定:采用甲醛滴定法^[4]。

$$\text{水解度} = \frac{\text{上清液中氨肽氮含量}}{\text{原料中总氮含量}} \times 100 = \frac{n \cdot h \cdot 6.25}{m \cdot p} \times 100$$

式中, h 表示每克酶解液中氨态氮含量, g; n 表示酶解液质量, g; m 表示脱脂蚕蛹粉质量, g; p 表示脱脂蚕蛹粉蛋白质质量分数, %; 6.25 表示蛋白质换算系数。

1.2.5 水解液中肽分子量分布分析

采用凝胶过滤色谱法测定。色谱条件:Waters 高效液相色谱(Waters 600), TSK gel G2000SWXL 300 mm×7.8 mm 分析柱;流动相 0.1%三氟乙酸:乙腈=80:20;流速 0.5 mL/min;进样体积 10 μL;检测波长 220 nm。分子量校正曲线所用标准品为细胞色素 C(MW12500), 抑肽酶(MW6500), 谷氨酰胺(VB12, 1355D), 甘氨酸-甘氨酸-甘氨酸(MW189), 甘氨酸(MW75), 相对分子质量的对数值与洗脱时间拟合直线方程为 $y = -3.232x + 29.98$ ($R^2 = 0.998$, 其中 y 为标准肽分子量的对数; x 为洗脱时间)。

1.2.6 味精和氯化钠对酶解液呈味特性的影响

选择超声前处理制备蚕蛹肽,在酶解液中添加一定的氯化钠和味精,以鲜味和咸味为指标,按照单纯

形重心设计进行试验, 试验设计方案如图 1。按单纯形中心设计的味精和氯化钠的浓度进行复配成溶液 100 mL, 再都分别加入 2 g 酶解液的冻干粉, 搅拌均匀, 进行感官评定。评定小组由 15 位经训练的专业人员组成, 评定成员每评定一个样品前用蒸馏水漱口, 取待评定样品 2~3 mL 置于口中, 10 s 后吐出, 漱口之后取参比液品尝, 以尽量去接近样品的滋味, 鲜味和咸味的三种浓度 (0.1%、0.5%和 1%), 对应的分值分别为 1、5 和 10, 其中鲜味和咸味的标准品分别是味精和氯化钠。

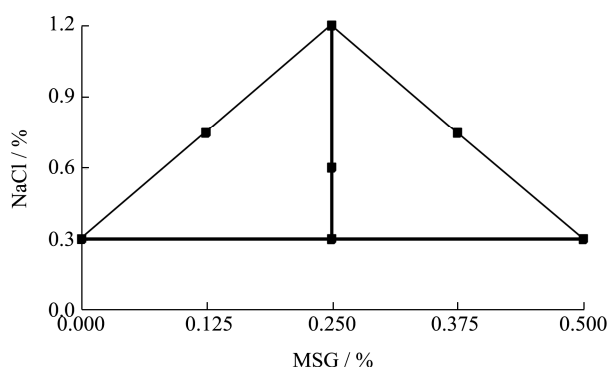


图 1 在酶解液中 NaCl 和 MSG 的浓度

Fig.1 Concentrations of sodium chloride and MSG in hydrolysates

1.2.7 数据统计

每个数据均为三次测定的平均值, 采用 SPSS 21.0 统计分析软件分析实验数据, 采用均值±标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 为表示方法, 不同样品间的差异采用单因素方差分析进行比较, 以 $p < 0.05$ 为有显著性。

2 结果与讨论

2.1 超声前处理

蚕蛹蛋白酶解前经不同超声功率 (160~800 W), 水解度和蛋白回收率的变化如图 2 所示。本试验超声的从图 2 中可以看出, 脱脂蚕蛹的水解度随着超声功率的增加而逐渐增加, 能够逐渐改善酶解的敏感性。脱脂蚕蛹经过 160~480 W 超声前处理后, 脱脂蚕蛹的水解度和蛋白回收率都没有显著的提高。但大于 480 W 超声后的前处理对脱脂蚕蛹的酶解都有明显的促进作用, 这说明较高的超声功率可以破坏蚕蛹蛋白的高级结构, 促进蛋白的溶出。在本实验中, 超声前处理 (560~800 W) 对脱脂蚕蛹的酶解敏感性显著, 其中 800 W 的超声前处理的效果最好, 脱脂蚕蛹的水解度提高了 3%, 而蛋白回收率提高了 5%。超声前处理缙丝蚕蛹蛋白这与部分学者在酶解的效果是一致的 [5,6]。穆丽霞等学者采用超声前处理提取蚕蛹蛋白取

得较好的效果 [7]。Jia 等学者采用超声前处理脱脂蚕蛹粉, 再采用 Alcalase 酶进行酶解, 发现具有很好的酶解效果 [8]。这可能是因为超声前处理产生的空穴作用可以破坏维系蛋白的空间结构的疏水作用和范德华力, 使得蛋白质部分展开, 部分蛋白溶于水中, 且暴露酶切位点, 易于酶解作用。因此对于已经发生变性聚集的蚕蛹蛋白, 超声前处理在低功率 (160~480 W) 不能显著改善其酶解效率, 但是当超声功率增加到 560 W 可以显著地提高其蛋白回收率和水解度。

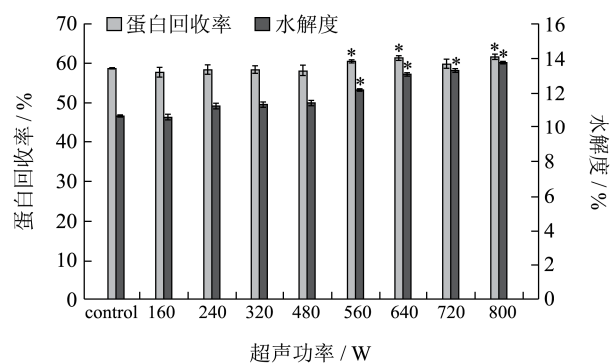


图 2 超声前处理对蚕蛹蛋白酶解时的水解度和蛋白回收率的影响

Fig.2 Effects of ultrasonic pretreatment on the DH and PR of silkworm pupae hydrolysates

注: *表示样品和 control 有显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.2 酸处理

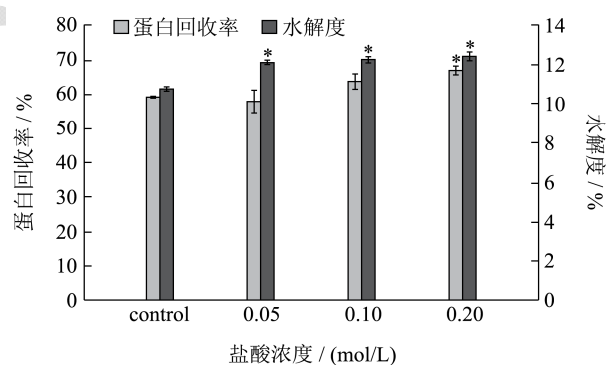


图 3 酸处理对蚕蛹蛋白酶解时的水解度和蛋白回收率的影响

Fig.3 Effects of acidification pretreatment on the DH and PR of silkworm pupae hydrolysates

注: *表示样品和 control 有显著性差异 ($p < 0.05$)。

蚕蛹蛋白酶解前经过不同浓度的盐酸 (0.05~0.2 mol/L) 酸前处理后, 水解度和蛋白回收率的变化如图 3 所示。从图中可以看出, 当盐酸浓度为 0.05 mol/L 时, 蚕蛹蛋白酶解后的水解度显著提高了, 但是蛋白回收率没有显著的变化, 因此低浓度酸处理可以促进氨态氮的增加; 盐酸的浓度继续增大到 0.1 mol/L 时, 水解度和蛋白回收率较 0.05 mol/L 有一定的提高, 而

且水解度有明显的增加,其增长率为14%;当盐酸浓度为0.2 mol/L时,蛋白回收率也有显著性提高,蛋白回收率提高了7%,这可能是较高浓度的酸可以防止酶解液中肽聚集沉淀,而且水解度的继续增加,这说明造成体系盐离子浓度增加并没有抑制酶的活性,这也有可能是较高的酸浓度处理,这会使得部分蛋白被水解,但水解出来的氨基酸有较大的破坏,同时由于后期酶解调回pH可能会对酶解产物的特性产生一定的影响。本试验的结果与Liao等研究报道结果一致,添加低浓度的盐酸可以起到提高酶解效率的作用^[9]。这些结果说明在较低盐酸浓度下,酸处理对蚕蛹蛋白的酶解有一定的促进作用,可以显著提高其水解度。

2.3 亚硫酸钠前处理

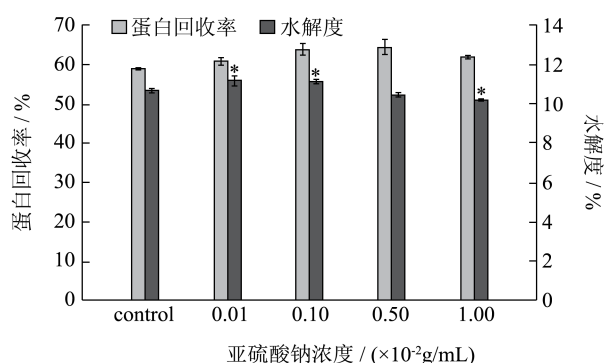


图4 亚硫酸钠前处理对蚕蛹蛋白酶解时的水解度和蛋白回收率的影响

Fig.4 Effects of sodium sulfite pretreatment on the DH and PR of silkworm pupae hydrolysates

注: *表示样品和 control 有显著性差异($p < 0.05$)。

蚕蛹蛋白酶解前经不同浓度的亚硫酸钠($0.01 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-2}$ g/mL)前处理后,水解度和蛋白回

表1 不同前处理条件对蚕蛹蛋白酶解产物肽的分子量分布

Table 1 Molecular weight distribution of peptide fractions from silkworm pupae hydrolysates after different pretreatments

MW/ku	control	0.1 M HCl	800 W 超声	0.01×10^{-2} g/mL Na_2SO_4
>10000	2.11	0.81	0.01	1.85
10000~5000	3.62	0.52	0.50	0.51
5000~3000	5.24	2.02	2.02	2.01
3000~1000	22.59	20.22	20.22	20.29
<1000	66.44	76.43	76.43	75.34

蚕蛹酶解的产物中大部分是肽,不同的分子量段的活性肽具有不同生理活性、功能特性。研究表明,分子量低的蛋白水解物的致敏性相较于蛋白质明显降低,当水解物相对分子质量小于2 ku时,过敏性基本消失;此外,某些蛋白质经适当酶进行适度酶解后生成在1~5 ku的小肽被称之为美拉德肽,经过美拉德反应后,能够产生较好的风味特性、鲜味和饱满感^[12],

收率的变化如图4所示。从图中可以看出,水解度随着亚硫酸钠的浓度增加,呈先增加后降低的趋势,但是蛋白回收率没有显著性变化。蚕蛹蛋白中含有肽链间和肽链内的二硫键,是维持其蛋白高级结构稳定性的重要因素,限制了蚕蛹蛋白的酶解。亚硫酸钠是食品工业中常用的还原剂,它使得蛋白分子内或分子间的二硫键还原,促进断裂形成游离巯基,从而破坏蛋白分子的空间结构,使得被包埋的酶解位点暴露。在低浓度亚硫酸钠前处理,蚕蛹蛋白酶解后的水解度和蛋白回收率增加,而且水解度和对照组有显著性差异,这可能是低浓度的亚硫酸破坏了蚕蛹蛋白的二硫键。但高浓度的亚硫酸钠前处理,水解度显著性地降低,这是可能由于在试验过程中亚硫酸钠的加热的分解导致形成硫化物促进了水解液中的氨基酸和肽形成二硫键或者可能是高浓度的亚硫酸钠对蛋白酶活的钝化作用。亚硫酸钠在前处理改变蛋白酶解特性的研究也有一些文献报道,如严梅荣^[10]等发现在菜籽粕蛋白酶解前添加低浓度的亚硫酸钠,采用Alcalase酶解菜籽粕蛋白2 h后,结果水解度是未添加亚硫酸钠处理的1.6倍。曹方^[11]等在酶解前向玉米蛋白悬浊液中添加亚硫酸钠(0.15% m/V),温度45℃,变性反应时间15 min,结果明显的提高了水解度。因此,低浓度(0.01×10^{-2} g/mL)亚硫酸钠能够改善蚕蛹蛋白酶解的效果,但是高浓度亚硫酸钠前处理反而会降低其酶解效率,不利于酶解。

2.4 不同前处理条件对酶解产物肽的分子量

分布

如果制备的蚕蛹酶解产物肽分子量在美拉德肽或活性肽的分子量标准范围内,那么就有可能具有美拉德肽或活性肽功能。因此,由上面的指标分别从三种前处理中筛选出相对较好酶解效果的前处理方法,进一步研究其肽分子量分布。从表1可以看出不同的前处理对蚕蛹蛋白酶解都能使得酶解产物中大分子部分减小,小分子肽段增多。通过前处理之后,大于5 ku的

肽段含量整体都比较少,主要是小于1 ku的肽段。其中小于3 ku的小分子肽都是占有90%以上,1~5 ku的肽段占有20%左右。由此可看出,通过前处理后再进行酶解,所有的前处理的酶解产物是以小分子肽或氨基酸为主的酶解产物,在亚硫酸钠和酸处理的酶解产物中大于10 ku的肽占比都大于超声前处理,这两种前处理仍然是含有小部分的大分子肽,而超声前处理,在大于10 ku的肽几乎没有;这三种前处理在1~10 ku的肽占比都小于未经过前处理,这是由于在这分子量

段的肽被酶解为更小的肽;在小于1 ku的小分子肽占比中,超声比亚硫酸钠和酸处理的小肽占比要多。因此,超声前处理可以大幅度减少酶解产物中的大于10 ku的肽占比,明显增加小于1 ku的肽占比,超声处理效果优于其他前处理,可进一步研究其产物的活性功能及美拉德反应活性。

2.5 味精和氯化钠对酶解液呈味特性的影响

表2 在不同浓度味精和氯化钠下的蚕蛹酶解液的咸味和鲜味评分

Table 2 Mean saltiness and umami scores of silkworm pupae hydrolysates with various concentrations of MSG and sodium chloride

试验号	浓度		咸味得分		鲜味得分	
	MSG(X1%)	NaCl(X2%)	实际值	预测值	实际值	预测值
1	0	0.3	3.1±0.99	3.10	3.78±0.81	3.77
2	0.125	0.75	4.92±1.24	4.93	6.65±1.42	6.66
3	0.25	0.3	3.77±1.75	3.78	5.32±0.75	5.33
4	0.25	0.6	4.67±0.52	4.65	6.77±0.37	6.73
5	0.25	1.2	6.17±1.47	6.16	6.70±1.24	6.69
6	0.375	0.75	5.14±1.41	5.15	7.23±0.37	7.25
7	0.5	0.3	4.36±2.03	4.35	5.88±1.17	5.87

探讨以蚕蛹酶解液为基液,通过添加味精和氯化钠对其滋味的影响,建立在味精和氯化钠的混合溶液中的鲜味和咸味的评价数学模型,为后期调配合适的滋味具有一定的应用意义。根据表2的数据,通过多元非线性回归分析,得到蚕蛹酶解液的鲜味和咸味评分的回归方程:

$$y_{\text{鲜}}=0.8-5.79x_1^2-3.76x_2^2+6.79x_1+7.47x_2-2.96x_1x_2;$$

$$y_{\text{咸}}=1.89-0.83x_1^2-0.41x_2^2+4.01x_1+4.16x_2-3.6x_1x_2。$$

得到的两个回归方程的相关系数 $R^2=0.99$,以及方差分析结果 Significance $F<0.05$,说明该回归方程非常显著。研究结果表明,在添加 NaCl 和 MSG 到蚕蛹酶解液的试验中,发现它们的浓度都对酶解液的鲜味有显著的影响,鲜味评分都是高于体系中存在味精对应的评分,而且有较大幅度的提升,通过分析发现,NaCl 和 MSG 的添加都显著促进了鲜味的提升,这与一些研究学者^[13]的结论是一致的;而咸味评分都是低于体系中存在氯化钠对应的评分,通过分析发现味精能够显著的影响酶解液的咸味,感官评定发现添加一定的氯化钠是可以掩盖一定的蚕蛹味。对偏回归系数进行 t 检验,发现氯化钠和味精的含量都是显著影响酶解液的咸味和鲜味的评分 ($p<0.05$),在鲜味评分方程,味精的浓度比氯化钠的浓度影响鲜味评分重要。其中氯化钠和味精的交互作用对鲜味的评分不显著。把鲜味方程看做一个多元函数,对其进行研究发现,当味精和氯化钠的浓度分别是 0.37%和 0.85%时,存

在鲜味的最高评分,可以达到 7.3 分。

3 结论

本文采用缫丝蚕蛹为原料,探讨不同的前处理对缫丝蚕蛹的酶解效率的影响及酶解产物的呈味特性的影响。结果表明超声和酸处理,其水解度和蛋白回收率都有所增加,有利于蛋白酶的酶解,而高浓度的亚硫酸钠前处理不利于蚕蛹蛋白的酶解。经过前处理都能提高酶解产物中小肽的比例,分子量小于 1000 u 的小肽占 75%以上,小于 1000 u 的小肽含量与对照组相比有明显的提升,超声前处理可以使得酶解产物中大于 10 ku 的肽几乎没有。探讨味精和氯化钠对酶解产物呈味的影响,在酶解液中添加适量的氯化钠和味精,可以提升酶解液的鲜味和掩盖蚕蛹味。

参考文献

- [1] Zhou J X. Health food derived from silkworm pupae approved [J]. Food Information and Technology, 2004, 4: 64
- [2] 秦伟佳,赵钟兴,吕汶骏,等.蚕蛹蛋白精制及其氨基酸成分分析[J].食品工业科技,2013,34(13):197-201
- [3] QIN Wei-jia, ZHAO Zhong-xing, LV Wen-jun, et al. Silkworm chrysalis protein refined and its amino acid composition analysis [J]. Food of Science and Technology, 2013, 34(13): 197-201
- [3] 鲁珍,穆利霞,刘军,等.蚕蛹酶解液美拉德反应产物的制备和

- 风味成分分析[J].食品与发酵工业,2013,39(4):119-124
- LU Zhen, MU Li-xia, LIU Jun, et al. The preparation of maillard reaction of enzymatic hydrolysate of silkworm chrysalis and flavor component analysis [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(4): 119-124
- [4] 赵谋明,张佳男,吴长平,等.大豆肽的制备及其美拉德反应产物特性研究[J].现代食品科技,2015,2:138-144
- ZHAO Mou-ming, ZHANG Jia-nan, WU Chang ping, et al. The characterization of soybean peptides and its maillardreaction products [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 2: 138-144
- [5] Chen L, J Chen, J Ren, et al. Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(6): 2600-2609
- [6] J Jin, H Ma, K Wang, et al. Effects of multi-frequency power ultrasound on the enzymolysis and structural characteristics of corn gluten meal [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 24: 55-64
- [7] 穆利霞,廖森泰,詹宝瑟,等.超声处理对碱法制备蚕蛹蛋白条件的优化[J].热带作物学报,2014,35(5):1005-1011
- MU Li-xia, LIAO Sen-tai, ZHAN Bao-se, et al. Ultrasonic treatment on optimizing the preparation of silkworm chrysalis protein with alkaline [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(5): 1005-1011
- [8] Jia J, Q Wu, H Yan, et al. Purification and molecular docking study of a novel angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory peptide from alcalase hydrolysate of ultrasonic-pretreated silkworm pupa (*Bombyx mori*) protein [J]. Process Biochemistry, 2015, 50(5): 876-883
- [9] Liao L, C Qiu, T Liu, et al. Susceptibility of wheat gluten to enzymatic hydrolysis following deamidation with acetic acid and sensory characteristics of the resultant hydrolysates [J]. Journal of Cereal Science, 2010, 52(3): 395-403
- [10] 严梅荣,王丹丹,鞠兴荣.Na₂SO₃对碱性蛋白酶水解菜籽粕产物的功能性质的影响[J].食品科学,2009,30(13):136-139
- YAN Mei-rong, WANG Dan-dan, JU Xing-rong. Effects of Na₂SO₃ on the functional properties of the alkaline protease hydrolysis meal [J]. Journal of Food Science, 2009, 30(13): 136-139
- [11] 曹方.玉米黄粉蛋白的酶法水解工艺[J].大连轻工业学院学报,2003,22(1):36-39
- CAO Fang. Enzymatic hydrolysis of protein maize yellow powder process [J]. Journal of Dalian Institute of Light Industry, 2003, 22(1): 36-39
- [12] Ogasawara M, T Katsumata, M Egi. Taste properties of Maillard-reaction products prepared from 1000 to 5000 u peptide [J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 600-604
- [13] Yamaguchi S, C Takahashi. Interactions of monosodium glutamate and sodium chloride on saltiness and palatability of a clear soup [J]. Journal of Food Science, 1984, 49(3): 82-85