

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022280

引用格式:陈瑞霞,孙思远,相悦,等.以淘汰蛋鸡为原料利用蛋白酶解技术制备咸味增强肽[J].食品与发酵工业,2020,46(1):166-171. CHEN Ruixia, SUN Siyuan, XIANG Yue, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis for rejected hen protein for salt-enhanced peptides preparation[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(1):166-171.

## 以淘汰蛋鸡为原料利用蛋白酶解技术制备咸味增强肽

陈瑞霞<sup>1</sup>, 孙思远<sup>1</sup>, 相悦<sup>1</sup>, 孙承锋<sup>1\*</sup>, 孙为正<sup>2\*</sup>

1(烟台大学, 山东 烟台, 264005) 2(华南理工大学, 广东 广州, 510641)

**摘 要** 以淘汰蛋鸡为研究对象, 利用木瓜蛋白酶制备咸味增强肽, 通过单因素实验和正交实验优化最佳制备工艺条件。采用量值估计法评定鸡肉蛋白酶解产物的咸味增强作用, 利用电子舌分析样品间滋味差异。正交实验极差分析结果表明, 制备咸味增强肽的最佳酶解条件为: 酶解时间 4 h, 酶解温度 50 ℃, 加酶量为鸡肉质量的 0.2%, 肉水比 1:2 ( $w/w$ ); 方差分析结果表明, 酶解时间、加酶量、肉水比以及时间和加酶量的交互作用对水解度有显著影响 ( $P < 0.05$ ); 酶解时间对酶解产物的咸味增强作用有显著影响 ( $P < 0.05$ )。电子舌输出信号值主成分分析结果表明, 27 组样品间的咸味存在差异, 其主要影响因素为酶解时间。研究表明, 淘汰蛋鸡蛋白酶解物能够将 50 mmol/L NaCl 溶液的咸味强度提升 26.2%, 可用于开发兼具调味和营养功能的调味品。

**关键词** 淘汰蛋鸡; 木瓜蛋白酶; 正交实验; 咸味增强肽; 感官评定; 电子舌

## Optimization of enzymatic hydrolysis for rejected hen protein for salt-enhanced peptides preparation

CHEN Ruixia<sup>1</sup>, SUN Siyuan<sup>1</sup>, XIANG Yue<sup>1</sup>, SUN Chengfeng<sup>1\*</sup>, SUN Weizheng<sup>2\*</sup>

1(Yantai University, Yantai 264005, China) 2(South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

**ABSTRACT** The purpose of this study is to optimize rejected hen protein hydrolysis using papain for salt-enhanced peptides preparation. The enzymatic hydrolysis was optimized using single-factor experiments and orthogonal test methods. The magnitude estimation method was employed to evaluate the saltiness enhancement of chicken protein hydrolysates. In addition, the electronic tongue was used to investigate the flavor difference in chicken protein hydrolysates. The results of the range analysis showed that the optimal enzymatic hydrolysis was achieved when enzymatic hydrolysis time reached 4 h, incubation temperature at 50 ℃, enzyme to substrate ratio to be 0.2% ( $w/w$ ), and meat-water ratio of 1:2. The results of variance analysis showed that the effect of hydrolysis time, enzyme concentration, the ratio of meat to water, and the interaction between time and enzyme concentration on the degree of hydrolysis were significant ( $P < 0.05$ ). The hydrolysis time had a significant effect ( $P < 0.05$ ) on taste enhancement. The output data from principal component analysis of taste sensor showed flavor difference existed among the 27 samples, and was mainly related to the enzymatic hydrolysis time. This study showed that the rejected hen protein hydrolysates was able to enhance salty taste of a 50 mmol/L NaCl solution by 26.2%. This optimized process can be used to develop nutritious flavor-enhancing condiments.

**Key words** spent hen, papain; orthogonal experimental design; salt-enhanced peptides; sensory evaluation; taste sensor

第一作者: 硕士研究生(孙承锋教授和孙为正教授为共同通讯作者, E-mail: cfsun2013@126.com; fewzhun@scut.edu.cn)

基金项目: “十三五”国家重点研发计划(2016YFD0401504); 广东省公益研究与能力建设专项资金项目(2016B020203001); 广州市科技计划对外科技合作计划(201807010102); 广州市珠江科技新星专项(201610010105)

收稿日期: 2019-09-16, 改回日期: 2019-09-26

食盐作为使用最广泛的调味品,在人们的日常生活中发挥着重要作用。例如赋予食品咸味并改善整体风味,降低食物中的水分活度从而达到防腐抗菌作用,延长食品货架期以及调节人体代谢平衡等<sup>[1]</sup>。但是,食盐摄入量过高会增加高血压、心血管疾病的发病率<sup>[2]</sup>。目前,我国人均食盐摄入量(12 g/d)远高于 WHO 所推荐的摄入量(5 g/d)<sup>[3]</sup>。随着消费者对健康饮食的日益关注,开发兼具营养价值的低钠调味品对食品行业的发展尤为重要。

TADA 等<sup>[4]</sup>在酪蛋白水解物的 N-端类似物合成过程中偶然发现,Orn-β-Ala HCl 和 Orn- Tau HCl 具有与 NaCl 相似的咸味,这是咸味肽首次被发现。此后,大量研究表明,蛋白质水解物具有咸味或咸味增强作用,但大多集中于海洋资源蛋白质深加工利用方面。ALEXANDER 等<sup>[5]</sup>研究发现,鱼精蛋白酶解产物经分离纯化得到的精酰胺二肽具有咸味增强作用。王欣等<sup>[6]</sup>发现,双酶酶解哈氏仿对虾蛋白可将其酶解产物的感官咸味强度从 10 mmol/L NaCl 提高至 55 mmol/L NaCl。

淘汰蛋鸡肉质老化、加工性能差,但是其鸡肉依然具有低脂肪、高蛋白,产量大,价格便宜等优点<sup>[7]</sup>。利用蛋白酶解技术对鸡肉进行加工可以有效提高淘汰蛋鸡的附加价值<sup>[8]</sup>。木瓜蛋白酶作用于肽链末端的赖氨酸和精氨酸<sup>[6]</sup>,以赋予鸡肉蛋白酶解物独特的风味尤其咸味<sup>[9]</sup>。因此,本文以淘汰蛋鸡为原料,采用木瓜蛋白酶制备咸味增强肽,为咸味肽的进一步开发利用提供方法指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 实验材料

三黄鸡,广东温氏食品集团股份有限公司提供,将鸡肉剔骨、去皮、去除脂肪后用绞肉机绞成肉糜,分装置于 -20 ℃ 贮藏备用;木瓜蛋白酶,广州裕立宝生物科技有限公司;食盐,四川乐山联峰盐化有限责任公司。

#### 1.1.2 仪器设备

MM12 型绞肉机,广东省韶关市大金食品机械厂;SHA-C 型水浴恒温振荡器,江苏省金坛市农仪器厂;CEM MARS 5 型高压高通量微波消解系统,美国 CEM 公司;3-18K 型高速冷冻离心机,广州倍立思仪器有限公司;KND-103F 型凯氏定氮仪,上海纤检仪器有限公司;916Ti-Touch 型全自动电位滴定仪,瑞士

万通中国有限公司;Z-2000 型原子吸收光谱仪,日本日立公司;TS-5000Z 型电子舌,日本 Insent 公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 鸡肉蛋白酶解

称取 20 g 鸡肉肉糜,加入去离子水以及木瓜蛋白酶,匀浆,置于恒温水浴锅中酶解,酶解完成后沸水浴灭酶 20 min,冷却至室温,离心 20 min (4800 × g, 4 ℃),过滤,所得滤液为酶解产物。

#### 1.2.2 蛋白回收率测定

根据 GB 5009.4—2016<sup>[10]</sup>中的凯氏定氮法测定其粗蛋白含量,蛋白回收率计算如公式(1)所示:

$$\text{蛋白回收率}/\% = \frac{\text{酶解产物中蛋白含量}}{\text{原料总蛋白含量}} \times 100 \quad (1)$$

#### 1.2.3 水解度测定

采用甲醛电位滴定法测定其游离氨基酸含氮量<sup>[11]</sup>,并计算其水解度:

$$\text{水解度}/\% = \frac{\text{酶解物游离氨态氮含量} - \text{空白游离氨态氮}}{\text{原料总氮量}} \times 100 \quad (2)$$

#### 1.2.4 钠离子含量测定

酶解液经微波消解后,参照 GB 5009.91—2017<sup>[12]</sup>,采用火焰原子吸收法测定其 Na<sup>+</sup> 含量。

#### 1.2.5 感官评定

##### 1.2.5.1 咸味评价

经过筛选和培训,选择 12 名学生(5 名男性,7 名女性)组成感官评价小组,评价鸡肉蛋白酶解物的咸味。咸味评分采用 5 分制(0 表示没有咸味,3 表示咸味适中,5 表示咸味强烈)。感官评定实验在室温下进行,感官评价人员每次取 1 mL 样品进行评价,品尝完立即用清水漱口,每个样品间隔 1 min。以感官评分的平均值作为最终咸味得分。

##### 1.2.5.2 咸味强度评定方法

参照 GB/T 19547—2004<sup>[13]</sup>,采用量值估计法评定酶解物的咸味强度。通过评估几何图形的面积引导评定人员掌握量值估计法的基本概念;配制 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90、100 mmol/L 系列梯度的 NaCl 溶液,感官评定人员品尝系列梯度浓度的 NaCl 溶液以了解不同浓度 NaCl 溶液的咸味强度<sup>[14]</sup>。将所有样品的 Na<sup>+</sup> 含量调整至 50 mmol/L,评定人员以 50 mmol/L NaCl 溶液作为外部参比样给出待测样品的具体咸味强度值 (mmol/L NaCl)。进行感官评定实验前 1 h,感官评定人员不可食用其他有刺激性味道的食物和饮料,不可过于疲劳。待测样品采用 3 个随机组合数字进行编号,评定人员只评定样品溶液的

咸味强度,不考虑其他的味道<sup>[15]</sup>。

1.2.6 电子舌评定

味觉信号采用日本 Insent 公司的 TS—5000Z 味觉分析系统进行检测。基本原理是 AAE、CT0、C00 三个味觉传感器分别与呈味物质相互作用引起人工脂膜膜电势的变化,并将该电势作为传感器的输出信号传输到电脑进行分析,以此评价样品的鲜味、咸味、苦味 3 种基本味道<sup>[16]</sup>。鲜味传感器 AAE 反映样品的鲜味和浓厚味,咸味传感器 CT0 反映样品的咸味,苦味传感器 C00 反映样品的苦味和苦味回味<sup>[16]</sup>。味觉传感器和参比电极使用前需要活化以保证数据的稳定性。以 50 mmol/L NaCl 溶液为参照液,对样品进行电子舌分析,每个样品测试 4 次。

1.2.7 单因素实验

以酶解时间、温度、加酶量和肉水比为实验因素,进行单因素实验研究木瓜蛋白酶的酶解特性,水解度、蛋白回收率和酶解产物的咸味评分为指标筛选酶解条件。

1.2.8 正交实验

根据单因素实验结果,选取酶解时间、肉水比、加酶量为实验因素按  $L_{27}(3^7)$  进行正交优化实验。通过正交实验分析 3 种因素之间的交互作用,并以水解度和咸味强度 (mmol/L NaCl) 为实验指标确定最优酶解条件。

表 1 蛋白酶解试验因素表

Table 1 Proteolytic analysis factor table

水平	因素		
	酶解时间(A)/h	加酶量(B)/%	m(肉):m(水)
1	4	0.1	1:1.5
2	6	0.15	1:2.0
3	8	0.2	1:2.5

1.2.9 数据分析

使用 SPSS 17.0 统计软件进行处理分析,One-way ANOVA 分析显著性 ( $P < 0.05$ );采用 Excel 2010 和 Origin 2016 绘制图表。

2 结果与讨论

2.1 酶解时间对鸡肉酶解产物的影响

如图 1 所示,蛋白回收率随酶解时间延长而逐渐增加;其中 2~4 h 蛋白回收率增速最大,随后呈缓慢增加趋势。DONG 等<sup>[17]</sup>采用风味蛋白酶酶解鸡骨架时也得到类似结果。其原因为反应开始时,体系中酶和底物充足使大分子蛋白质含量迅速增加;之后,大

分子肽段裂解成更小的肽段和游离氨基酸<sup>[18]</sup>。2~10 h 内水解度显著增加 ( $P < 0.05$ );说明易被酶解的肽段还未完全裂解且酶充足<sup>[17]</sup>。酶解产物的咸味主要与氨基酸和小分子肽相关<sup>[19-20]</sup>,酶解过程中小分子物质种类和含量的变化引起咸味的改变。酶解产物的咸味评分在 4 和 8 h 时最佳,其可能与含有较多的与咸味相关的小分子物质相关。因此,经综合考虑,后续实验选取酶解时间为 8 h。

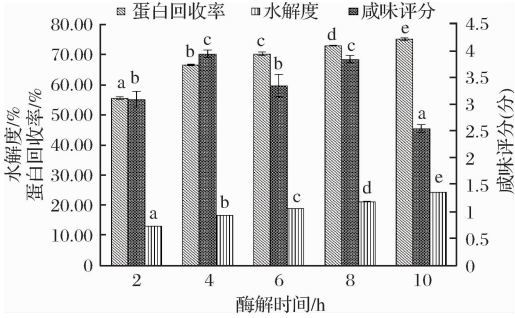


图 1 酶解时间对蛋白回收率、水解度、咸味的影响

Fig.1 Effect of hydrolysis time on protein recovery, degree of hydrolysis and salty taste

注:相同指标标注不同字母具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。下同。

2.2 酶解温度对鸡肉酶解产物的影响

如图 2 所示,40~60 ℃ 范围内,蛋白回收率和水解度均先增后减;温度过高可能引起木瓜蛋白酶热变性,酶活性降低<sup>[8, 21]</sup>。50 ℃ 时蛋白回收率 (72.96%) 和水解度 (21.18%) 均达最大;由此可见,该体系下木瓜蛋白酶的最适酶解温度为 50 ℃。李超等<sup>[9]</sup>研究鸡肉蛋白酶解条件和酶解产物降解规律时也有相似的结果。鸡肉酶解产物的咸味评分随温度升高呈先降后升再降再升的趋势,在 50 ℃ 达最大。因此,选择 50 ℃ 作为后续酶解实验的酶解温度。

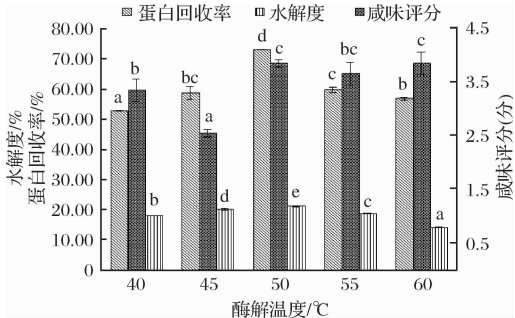


图 2 酶解温度对蛋白回收率、水解度、咸味的影响

Fig.2 Effect of hydrolysis temperature on protein recovery, degree of hydrolysis and salty taste

2.3 加酶量对鸡肉酶解产物的影响

如图 3 所示,加酶量 0.15%~0.30% (w/w) 时,

蛋白回收率和水解度随加酶量增加而增加,但均无显著性差异( $P>0.05$ );由于酶浓度增加造成蛋白酶无法与底物有效结合,限制酶解反应速率<sup>[21]</sup>。加酶量低于0.20% ( $w/w$ )时样品之间的咸味评分没有显著性差异( $P>0.05$ ),高于0.2% ( $w/w$ )时显著降低( $P<0.05$ )。因此,综合考虑选择0.2% (质量分数)加酶量进行下步实验。

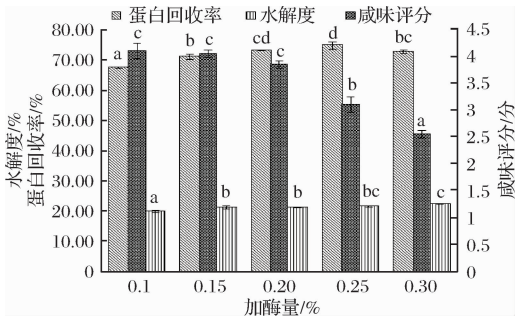


图3 加酶量对蛋白回收率、水解度、咸味的影响  
Fig.3 Effect of the amount of papain on protein recovery, degree of hydrolysis and salty taste

2.4 肉水比对鸡肉酶解产物的影响

如图4所示,蛋白回收率和水解度均随肉水比增加而显著提高( $P<0.05$ );其原因是肉水比增加,酶解反应体系中水增加,肉糜与酶接触更充分,酶解产生更多的小分子肽和氨基酸<sup>[7]</sup>。李超等<sup>[9]</sup>发现肉水比对水解度影响不大,这可能是鸡肉品种和酶解条件不同造成的。肉水比超过1:2 ( $w/w$ )之后,酶解产物的咸味评分

显著下降( $P<0.05$ )。因此,选择肉水比为1:2 ( $w/w$ )。

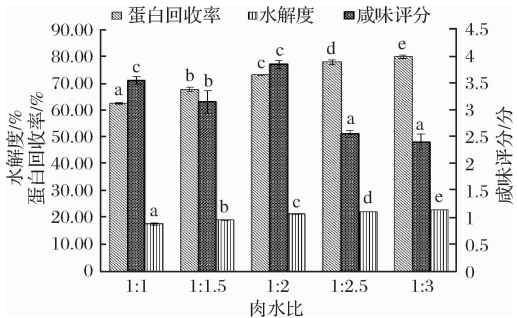


图4 肉水比对蛋白回收率、水解度、咸味的影响  
Fig.4 Effect of the ratio of substance-water on protein recovery, degree of hydrolysis and salty taste

2.5 正交优化实验结果分析

如表2所示,由极差R可得出因素A(时间)对水解度和咸味增强作用的影响均位于第一位,本文主要为获取咸味增强作用最佳的酶解产物,最终选择 $A_1$ ;对于因素B(加酶量),其对水解度和酶解产物咸味增强作用的影响均为次要因素,此时选取 $B_3$ ;因素C(肉水比)对水解度的影响排第二位,此时选 $C_3$ ;因素C与因素B的交互作用对咸味增强作用的影响排在第二位,此时选 $C_2$ ;结合本实验是以获得咸味增强作用最佳的鸡肉酶解产物为主要目的,则取 $C_2$ 。因此最优组合为 $A_1B_3C_2$ ,即酶解时间4 h,加酶量0.2% (质量分数), $m(\text{肉}):m(\text{水})$ 为1:2;该条件下制备的酶解物能够将50 mmol/L NaCl溶液的咸味感知强度提升

表2 正交实验结果极差分析

Table 2 Range analysis of the orthogonal experiment results

试验号	A	B	AB <sub>1</sub>	AB <sub>2</sub>	C	AC <sub>1</sub>	AC <sub>2</sub>	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	水解度/ %	咸味强度/ (mmol · L <sup>-1</sup> NaCl)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13.40	60.1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	14.25	56.9
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	15.22	60.2
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	15.17	61.2
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	15.84	68.0
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	16.47	54.9
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	15.69	61.8
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	16.50	63.1
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	16.68	58.5
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	15.19	55.9
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	16.50	57.2
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	17.34	56.1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	16.33	55.1
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	17.63	55.7
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	18.21	57.6
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	17.02	57.6
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	17.91	57.3
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	18.36	54.5
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	17.79	54.3
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	18.99	55.5
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	19.16	58.8

续表 2

试验号		A	B	AB <sub>1</sub>	AB <sub>2</sub>	C	AC <sub>1</sub>	AC <sub>2</sub>	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	水解度/ %	咸味强度/ (mmol·L <sup>-1</sup> NaCl)
22		3	2	1	3	1	3	2	2	3	18.05	57.7
23		3	2	1	3	2	1	3	3	1	19.08	57.9
24		3	2	1	3	3	2	1	1	2	20.12	58.3
25		3	3	2	1	1	3	2	2	2	18.46	58.8
26		3	3	2	1	2	1	3	3	3	20.27	59.0
27		3	3	2	1	3	2	1	1	1	20.45	59.4
水解度/ %	k <sub>1</sub>	15.44	16.43	17.05	17.14	16.31	17.36	17.30	17.32	17.32		
	k <sub>2</sub>	17.17	17.43	17.30	17.41	17.44	17.21	17.20	17.20	17.12		
	k <sub>3</sub>	19.15	17.89	17.41	17.21	18.00	17.19	17.25	17.24	17.31		
	极差 R	3.72	1.47	0.36	0.28	1.69	0.17	0.10	0.12	0.19		
咸味强度/ (mmol·L <sup>-1</sup> NaCl)	k <sub>1</sub>	60.52	57.22	57.83	58.09	58.06	58.19	58.87	57.83	58.26		
	k <sub>2</sub>	56.33	58.49	58.94	58.01	58.97	59.23	58.56	57.33	57.62		
	k <sub>3</sub>	57.74	58.89	57.82	58.50	57.59	57.18	57.18	59.43	58.72		
	极差 R	4.19	1.67	1.12	0.58	1.37	2.06	1.69	2.10	1.10		

至 63.1 mmol/L NaCl,咸味强度增加了 26.2%。其原因是该条件酶解制备的鸡肉酶解物中本身带有咸味或具有咸味增强作用的小分子肽和游离氨基酸含量较高<sup>[9]</sup>。有研究报道,含 3.0%(质量浓度)鱼精蛋白酶解产物的肉汤模型可以使 50 mmol/L NaCl 溶液的咸味增加,经分离纯化后发现一系列含精氨酸的二肽均具有咸味增强作用<sup>[5]</sup>。

方差分析结果如表 3 所示,酶解时间、加酶量、肉水比对水解度均具有显著性影响( $P<0.05$ );酶解时间和加酶量之间存在交互作用且对水解度有显著性影响( $P<0.05$ )。对鸡肉酶解产物的咸味增强作用有显著性影响( $P<0.05$ )的只有酶解时间。

表 3 水解度的正交实验结果方差分析

Table 3 Variance analysis of the orthogonal experiment results of degree of hydrolysis

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
A	61.18	2	30.59	432.45	0.00	*
	81.76	2	40.88	5.82	0.03	*
B	10.52	2	5.26	74.37	0.00	*
	13.63	2	6.82	0.97	0.42	
C	12.78	2	6.39	90.36	0.00	*
	8.69	2	4.34	0.62	0.56	
A×B	1.08	4	0.27	3.81	0.05	*
	8.72	4	2.18	0.31	0.86	
A×C	0.31	4	0.08	1.09	0.42	
	33.56	4	8.39	1.19	0.38	
B×C	0.22	4	0.05	0.77	0.58	
	27.15	4	6.79	0.97	0.48	
误差	0.57	8	0.07			
	56.22	8	7.03			
总计	8 132.23	27				
	91 685.20	27				

注:“\*”表示显著性差异。

2.6 电子舌结果分析

对酶解产物咸味、鲜味、苦味、苦味回味和浓厚味电子舌输出信号值进行主成分分析的结果如图 5 所示,2 个主成分可以解释 78.79 % 的原始变量信息,说明 PC1 和 PC2 能充分解释 27 组样品的味道信息。正交实验的 27 组鸡肉蛋白酶解产物分布在 4 个象限内,说明电子舌可以较好区分不同酶解产物味道的差异。CHEUNG 等<sup>[22]</sup>研究虾副产品酶解产物的味道时,也发现通过对电子舌输出结果进行主成分分析可以将样品分类。刘树萍<sup>[23]</sup>利用电子舌和电子鼻研究排骨汤风味变化,同样发现电子舌可以较好地地区分 9 组样品的滋味差异。

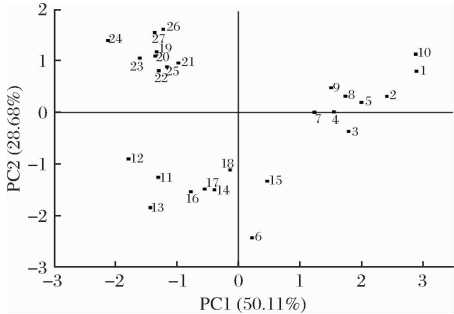


图 5 酶解液味觉输出结果的主成分分析图

Fig.5 The plot displaying scores of the first two principal components for taste sensor outputs of hydrolysates solution

不同酶解时间处理组的样品组间间距大;相同酶解时间下的样品组内距离小;这表明酶解产物的味道与酶解时间相关,且时间对酶解产物味道的影响较大;加酶量和肉水比对酶解产物味道的影响较小,这与感官分析结果基本一致。李微等<sup>[24]</sup>也发现大黄鱼酶解产物的感官评分和电子舌结果具有一致性。有

文献报道,以人工脂膜为基础的味觉传感器具有整体选择性,其输出结果与人类感官评分具有良好的相关性,可以广泛应用于很多领域,比如药品和饮料<sup>[16]</sup>。

### 3 结论

木瓜蛋白酶酶解鸡肉蛋白制备咸味肽的最佳酶解条件为:时间 4 h,温度 50 ℃,加酶量 0.2% (质量分数), $m(\text{肉}):m(\text{水})$  为 1:2;影响酶解产物咸味增强作用的主要因素是酶解时间。在此条件下酶解制备的酶解产物咸味增强作用较佳,能够将 50 mmol/L NaCl 溶液的咸味感知强度提升 26.2%,且富含多肽和游离氨基酸兼具较高的营养价值,可用于开发具有调味和营养价值的功能性调味品。电子舌主成分分析结果表明,27 组正交实验样品分布在 4 个象限,相同酶解时间下的酶解产物的味道具有一定相似性,酶解时间对样品味道的影响最大。电子舌可以用来区分不同酶解条件下制备的酶解产物的味道差异,为客观评价蛋白酶解产物的味道提供了理论依据。

### 参 考 文 献

- [1] ALBARRACI N W, SÁNCHEZ I C, GRAU R, et al. Salt in food processing; usage and reduction: A review[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(7): 1 329–1 336.
- [2] BRUNNER H, MORGAN T, AUBERT J F. Interaction between sodium intake, angiotensin II, and blood pressure as a cause of cardiac hypertrophy [J]. *American Journal of Hypertension*, 2001, 14(9): 914–920.
- [3] 张雅玮,郭秀云,彭增起.食盐替代物研究进展[J]. *肉类研究*, 2011, 25(2): 36–38.
- [4] TADA M, SHINODA I, OKAI H. L-Ornithyltaurine, a new salty peptide[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1984, 32(5): 992–996.
- [5] ALEXANDER S, ANDREAS D, FRAUKE S H, et al. Discovery of salt taste enhancing arginyl dipeptides in protein digests and fermented fish sauces by means of a sensomics approach[J]. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(23): 12 578–12 588.
- [6] 王欣,安灿,陈美龄,等.酶水解哈氏仿对虾蛋白提高咸味的研究[J]. *中国调味品*, 2017, 42(5): 12–16.
- [7] 周雪松.鸡肉蛋白酶解及其产物抗氧化活性研究[D].广州:华南理工大学,2006.
- [8] KUROZAWA L E, PARK K J, HUBINGER M D, et al. Optimization of the enzymatic hydrolysis of chicken meat using response sur-

- face methodology[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 73(5): C405–C412.
- [9] 李超,钟芳,李玥,等.鸡肉蛋白酶解条件及产物降解规律[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(11): 5–10.
- [10] GB5009.4—2016,食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [11] 苏国万.花生粕酶解及其产物呈味特性研究[D].广州:华南理工大学,2012.
- [12] GB 5009.91—2017,食品中钾、钠的测定[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [13] GB/T19547—2004,感官分析 方法学 量值估计法[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [14] 葛宝宝.食盐替代物的风味评估及复配研究[D].无锡:江南大学,2017.
- [15] 黄孝闯,张雅玮,任晓璞,等.电子舌与感官评定对咸度评价的比较[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(11): 285–290.
- [16] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores[J]. *Sensors*, 2010, 10(4): 3 411–3 443.
- [17] DONG Xianbing, LI Xia, ZHANG Chunhui, et al. Development of a novel method for hot-pressure extraction of protein from chicken bone and the effect of enzymatic hydrolysis on the extracts[J]. *Food Chemistry*, 2014, 157(1): 339–346.
- [18] ZHAO Mouming, ZHOU Xuesong, LIN Weifeng. Changes of taste composition during the enzymatic hydrolysis of chicken meat[J]. *Food Science*, 2006, 27(5): 68–72.
- [19] 张顺亮,成晓瑜,乔晓玲,等.牛骨酶解产物中咸味肽组分的分离纯化及成分研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(6): 29–32.
- [20] XU Jiaojiao, ELKADDI N, GARCIALBLANCO A, et al. Arginyl dipeptides increase the frequency of NaCl-elicited responses via epithelial sodium channel alpha and delta subunits in cultured human fungiform taste papillae cells[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 7 483.
- [21] NOMAN A, XU Y, AL-BUKHAITI W Q, et al. Influence of enzymatic hydrolysis conditions on the degree of hydrolysis and functional properties of protein hydrolysate obtained from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) by using papain enzyme[J]. *Process Biochemistry*, 2018, 67: 19–28.
- [22] CHEUNG I W Y, LI-CHAN E C Y. Application of taste sensing system for characterisation of enzymatic hydrolysates from shrimp processing by-products[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145(7): 1 076–1 085.
- [23] 刘树萍.电子鼻和电子舌技术在排骨汤风味评价中的应用[J]. *肉类研究*, 2018, 32(1): 58–63.
- [24] 李微,苏国万,孙为正.酶解大黄鱼制备咸味增强肽的研究[J]. *现代食品科技*, 2019, 35(6): 184–190.