

# 鸡胸肉酶解液美拉德反应工艺优化及应用

孙兴铭,张莉莉,布阿提汗·吐尔孙,郑瑞仪,张玉玉\*

(北京工商大学老年营养与健康教育部重点实验室,中国商业联合会味科学重点实验室,中原食品实验室,北京100048)

**摘要:**为推进鸡肉蛋白高值化利用,提升其风味品质,该文以鸡胸肉酶解液为原料制备美拉德反应产物,采用单因素和正交试验确定美拉德反应的最佳工艺条件,进一步将美拉德反应产物与酵母蛋白进行复配,通过调味、调质开发一款风味口感较佳的高蛋白饮品。研究结果显示:美拉德反应的最佳工艺为反应温度95℃、反应时间1.5h、葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比1:15。通过单因素试验,确定酵母蛋白添加量为12.5%。对美拉德反应产物与酵母蛋白的混合溶液进行调味、调质,确定最佳配方为柠檬汁添加量2%、薄荷粉添加量0.03%、甘露糖醇添加量0.6%、黄原胶添加量0.06%。鸡胸肉酶解液经美拉德反应与调味后,在口感上得到较大改善。

**关键词:**鸡胸肉;酶解;美拉德反应;酵母蛋白;感官评价

## Optimization and Application of Maillard Reaction Process of Enzymatic Hydrolysate of Chicken Breast

SUN Xingming, ZHANG Lili, TURSUN Buatihan, ZHENG Ruiyi, ZHANG Yuyu\*

(Key Laboratory of Geriatric Nutrition and Health, Ministry of Education, Key Laboratory of Flavor Science, China General Chamber of Commerce, Food Laboratory of Zhongyuan, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** In order to promote the high-value utilization of chicken protein and improve its flavor quality, the Maillard reaction products were prepared from enzymatic hydrolysate of chicken breast, and the optimal process conditions of the Maillard reaction were determined by single factor and orthogonal tests. A high protein drink with good flavor and taste was developed by combining the Maillard reaction products with yeast protein through seasoning and tempering. The results showed that the optimal processes of the Maillard reaction were as follows: The reaction temperature was 95 °C; the reaction time was 1.5 h, and the mass ratio of glucose to enzymatic hydrolysate of chicken breast was 1:15. According to the single factor test, the optimal addition amount of yeast protein was 12.5%. The mixture of Maillard reaction products and yeast protein was flavored and tempered, and the optimal formula was determined as follows: lemon juice of 2%, peppermint powder of 0.03%, mannitol of 0.6%, and xanthan gum of 0.06%. The taste of enzymatic hydrolysate of chicken breast was greatly improved by the Maillard reaction and seasoning.

**Key words:** chicken breast; enzymolysis; Maillard reaction; yeast protein; sensory evaluation

引文格式:

孙兴铭,张莉莉,布阿提汗·吐尔孙,等.鸡胸肉酶解液美拉德反应工艺优化及应用[J].食品研究与开发,2025,46(2):164-171,207.

SUN Xingming, ZHANG Lili, TURSUN Buatihan, et al. Optimization and Application of Maillard Reaction Process of Enzymatic Hydrolysate of Chicken Breast[J]. Food Research and Development, 2025, 46(2): 164-171, 207.

中国作为全球鸡肉生产的主要国家之一,依托大规模的养殖模式与先进的工业化加工技术,基本满足了国内市场对鸡肉的需求。在食品工业中,鸡肉作为

一种优质的蛋白质来源,其加工利用一直备受关注<sup>[1]</sup>。鸡胸肉因其高蛋白含量和低脂肪特性,在健康饮食和营养补充方面具有重要地位。王晓薇<sup>[2]</sup>在研究固原鸡

作者简介:孙兴铭(2000—),男(汉),硕士,研究方向:天然食用香料与食品风味化学。

\*通信作者:张玉玉(1982—),女(汉),教授,博士,研究方向:天然食用香料与食品风味化学。

营养成分时发现,鸡胸肉中蛋白质含量高达24.03%,脂肪含量仅为1.27%,并富含多种氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、赖氨酸等)。然而,鸡胸肉在常规烹饪过程中往往存在风味不足、口感欠佳的问题,这在一定程度上限制了其消费市场的进一步扩大。因此,如何通过科学的方法改善鸡胸肉的风味与口感,提高其附加值,成为当前食品研究领域的热点之一。

蛋白质酶解技术不仅反应条件温和,还能在不破坏敏感氨基酸的同时将蛋白质分解成氨基酸和小分子肽,并产生风味氨基酸<sup>[3]</sup>。目前对于鸡肉酶解的研究较多,李自会<sup>[4]</sup>研究了不同酶解条件对鸡肉酶解产物感官品质的影响,并通过单因素与正交试验确定了最优酶解工艺。朱生林等<sup>[5]</sup>则进一步通过蛋白酶组合优化,酶解鸡肉以生成短肽和游离氨基酸,从而实现增鲜的效果。尽管酶解能显著提升鸡肉蛋白的利用率,但大多酶解液的适口性较差。美拉德反应作为食品加工过程中常见的非酶褐变反应<sup>[6]</sup>,已被证明是改善肉类酶解液风味的一种有效方式<sup>[7-8]</sup>。然而,美拉德反应受多种因素影响,反应时间、反应温度、还原糖添加量等均会影响反应的进行和最终风味物质的形成<sup>[9]</sup>。因此对鸡肉酶解液美拉德反应条件进行优化,对于推进鸡肉蛋白的高值化利用具有重要意义。

动物源蛋白大多具有腥味重、口感单一等缺点,这在一定程度上限制了其蛋白制品的应用。当前食品企业在满足消费者对天然、健康、营养、美味需求的同时,也更加关注蛋白质补充的多样性。酵母蛋白作为一种微生物源蛋白,因其具有生产效率高、二氧化碳排量低等优点,被认为是新型替代蛋白的最佳选择<sup>[10-11]</sup>。动物源蛋白和微生物源蛋白作为一种新兴的食用搭配方式之一,具有广阔的市场前景,且预试验结果显示,酵母蛋白可在有效掩盖鸡胸肉蛋白腥味的同时降低其特有的酵母味。因此,设计并开发一款风味较佳的多蛋白源产品对满足市场需求尤为重要。

本试验对鸡胸肉酶解液进行美拉德反应,研究不同反应条件对美拉德反应产物可接受度的影响,确定最佳美拉德反应工艺条件。加入酵母蛋白进行复配,并加入柠檬汁、薄荷粉、黄原胶等进行调味调质,得到一款风味口感较佳的高蛋白饮品,以期酶解液风味的改进和酵母蛋白在饮料中的开发应用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

鸡胸肉、鲜柠檬:市售;碱性蛋白酶( $2 \times 10^5$  U/g):南宁庞博生物工程有限公司;葡萄糖(纯度 $\geq 99\%$ ,食品级):山东西王药业有限公司;蒸馏水:屈臣氏集团有限公司;酵母蛋白(食品级):湖北安琪酵母股份有限公司;甘露糖醇(纯度 $\geq 99\%$ ,食品级):青岛明月海藻集团

有限公司;黄原胶(纯度 $\geq 99\%$ ,食品级):河南兴源化工产品有限公司;薄荷粉(纯度 $\geq 95\%$ ,食品级):河南中辰生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

电子分析天平(T-403):北京赛多利斯仪器系统有限公司;集热式恒温加热磁力搅拌器(DF-101S):郑州龙翔仪器有限公司;绞肉机(QSJ-B03H2):广东小熊电器有限公司;冷却水循环装置(CCA-1112):北京天林恒泰科技有限公司;台式高速冷冻离心机(TGL16M):湖南湘仪实验仪器开发有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 鸡胸肉酶解液的制备

将鸡胸肉去皮去脂肪,洗净后切成小块,放入绞肉机中绞成鸡胸肉泥。将鸡胸肉泥和水按质量比1:2加入四口烧瓶中加热,待瓶内温度上升至 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 后,称取0.4 g碱性蛋白酶(鸡胸肉质量的0.2%)加入四口烧瓶中, $50\text{ }^\circ\text{C}$ 酶解2 h。酶解结束后迅速升温至 $90\text{ }^\circ\text{C}$ ,维持10 min使酶失活,随后冷却至室温,得到鸡胸肉酶解液。

#### 1.3.2 美拉德反应条件优化

##### 1.3.2.1 美拉德反应时间的确定

取鸡胸肉酶解液100 g,加入与鸡胸肉酶解液的质量比为1:15的葡萄糖, $100\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温条件下分别反应0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 h,冷却至室温,加入鸡胸肉质量12.5%的酵母蛋白,搅拌均匀后进行感官评价,确定最佳反应时间。

##### 1.3.2.2 美拉德反应葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比的确定

取鸡胸肉酶解液100 g,分别加入与鸡胸肉酶解液的质量比为1:20.0、1:17.5、1:15.0、1:12.5、1:10.0的葡萄糖,搅拌均匀, $100\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温反应1.5 h,冷却至室温,加入鸡胸肉质量12.5%的酵母蛋白,搅拌均匀后进行感官评价,确定最佳葡萄糖添加量。

##### 1.3.2.3 美拉德反应温度的确定

取鸡胸肉酶解液100 g,加入与酶解液的质量比为1:15的葡萄糖,搅拌均匀,分别于 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $85\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $90\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $95\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温反应1.5 h,冷却至室温,加入鸡胸肉质量12.5%的酵母蛋白,搅拌均匀后进行感官评价,确定最佳反应温度。

### 1.3.3 正交试验设计

在单因素试验确定的最佳美拉德反应工艺条件基础上,选取美拉德反应温度、葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比、反应时间3个因素,采用 $L_9(3^3)$ 正交试验,按表1中因素和水平进行正交试验,以确定最优美拉德反应工艺。

### 1.3.4 酵母蛋白添加量的确定

以最优美拉德反应工艺条件下制备的鸡胸肉酶解液美拉德反应产物为基础,分别加入占鸡胸肉质量

表1 正交试验因素和水平

Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	因素		
	A 反应温度/°C	B 反应时间/h	C 葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比
1	92	1.2	1:14
2	95	1.5	1:15
3	98	1.8	1:16

5.0%、7.5%、10.0%、12.5% 和 15.0% 的酵母蛋白,搅拌均匀后通过感官评价确定最佳酵母蛋白的添加量。

### 1.3.5 调味调质试验

#### 1.3.5.1 柠檬汁添加量的确定

以添加 12.5% 酵母蛋白(占鸡胸肉质量)的鸡胸肉酶解液美拉德反应产物为基础,加入 0%、2%、4%、6%、8% 的柠檬汁搅拌均匀,并对样品进行感官评价,确定柠檬汁的最适添加量。

#### 1.3.5.2 薄荷粉添加量的确定

以添加 12.5% 酵母蛋白(占鸡胸肉质量)的鸡胸肉酶解液美拉德反应产物为基础,添加 2% 的柠檬汁搅拌均匀,分别加入 0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05% 的薄荷粉搅拌均匀,并对样品进行感官评价,确定薄荷粉的最适添加量。

#### 1.3.5.3 甘露糖醇添加量的确定

以添加 12.5% 酵母蛋白(占鸡胸肉质量)的鸡胸肉酶解液美拉德反应产物为基础,添加 2% 柠檬汁、0.03% 薄荷粉搅拌均匀,分别加入 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8% 甘露糖醇搅拌均匀,并对样品进行感官评价,确定甘露糖醇的最适添加量。

#### 1.3.5.4 黄原胶添加量的确定

以添加 12.5% 酵母蛋白(占鸡胸肉质量)的鸡胸肉酶解液美拉德反应产物为基础,添加 2% 柠檬汁、0.03% 薄荷粉、0.6% 甘露糖醇搅拌均匀,分别添加 0%、0.02%、0.04%、0.06%、0.08% 的黄原胶搅拌均匀,并对样品进行感官评价,确定黄原胶的最适添加量。

### 1.3.6 感官评价方法

#### 1.3.6.1 排序法

参照 GB/T 12315—2008《感官分析方法学 排序法》对所制备的样品进行感官评价<sup>[2]</sup>。挑选 7 名受过感官培训的评价员对 5 个样品的可接受度按照从高到低进行排序(1 为可接受度最高,5 为可接受度最低)。以香气佳、甜味与酸味适中、无焦糊味和异味、口感顺

滑、色泽均匀为标准进行排序,评价员的秩次相加得到每个样品的秩和。随后通过 Friedman 检验对样品间的差异进行分析,通过公式(1)计算  $F_{test}$  值并与表 2 的数据水平进行比较并按公式(2)计算最小显著差(least significant difference, LSD)。

$$F_{test} = \frac{12}{jp(p+1)} (R_1^2 + \dots + R_p^2) - 3j(p+1) \quad (1)$$

$$L_{SD} = Z \sqrt{\frac{jp(p+1)}{6}} \quad (2)$$

式中: $j$  为评价员人数; $p$  为样品数; $R_p$  为第  $p$  个样品的秩和  $L_{SD}$  为 LSD 值。

表2 Friedman 检验的临界值

Table 2 Critical values of Friedman test

评价员人数	样品数				
	3	4	5	6	7
7	7.14	7.80	9.11	10.62	12.07
8	6.25	7.65	9.19	10.68	12.14
9	6.22	7.66	9.22	10.73	12.19
10	6.20	7.67	9.25	10.76	12.23
11	6.55	7.68	9.27	10.79	12.27
12	6.17	7.70	9.29	10.81	12.29
13	6.00	7.70	9.30	10.83	12.37
14	6.14	7.71	9.32	10.85	12.34
15	6.40	7.72	9.33	10.87	12.35
16	5.99	7.73	9.34	10.88	12.37
17	5.99	7.73	9.34	10.89	12.38
18	5.99	7.73	9.36	10.90	12.39
19	5.99	7.74	9.36	10.91	12.40
20	5.99	7.74	9.37	10.92	12.41
>20	5.99	7.81	9.49	11.07	12.59

根据表 2 中评价员人数、样品数和显著性水平( $\alpha=0.05$ ),如果  $F_{test} > F$ ,认为样品的秩次间存在差异,即样品间存在差异。如果 Friedman 检验的结论是样品间存在显著差异时,根据公式(2)计算 LSD 值来判断某一样品与其他样品是否存在显著性差异。若两样品秩和之差等于或大于 LSD 值,则可说明两个样品间在  $\alpha$  水平上存在显著性差异,即排序检验时,已区分出这两个样品之间的差异。

#### 1.3.6.2 美拉德反应产物感官评价标准

选 9 名受过感官培训的评价员对理论最优组与实际最优组美拉德反应产物,鸡胸肉酶解液与调味调质后的美拉德反应产物溶液进行感官评分。感官评价标准见表 3。评分结果为剔除异常值后所取的平均值。

表3 感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation criteria

分值	气味	滋味	颗粒感	颜色	可接受度
16~20	香气佳、无焦味和腥味	甜味、酸味适中,口感协调	均匀细腻,口感顺滑	色泽均匀,褐色适中	最高
11~<16	香气较佳,无明显异味	焦糖味较好,无明显异味	无明显颗粒感,整体协调度欠佳	浅褐色,颜色较好	较高
6~<11	香气淡,有焦味与酸味	口感一般,存在酸味、苦味	颗粒感较重,口感欠佳	褐色不足或偏深	一般
1~<6	腥味与酵母异味重	苦味与酸味明显	颗粒感明显突出	褐色过浅或过深	最低

### 1.4 数据分析

感官评价数据通过 Excel 2016 和 Origin 2022 软件进行数据分析以及图表制作。用 SPSS 19.0 分析软件使用单因素方差分析和独立样本 *T* 检验对结果的差异进行统计分析( $p < 0.05$ )。每个试验重复 3 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 美拉德反应单因素试验结果

#### 2.1.1 美拉德反应时间的确定

反应时间对美拉德反应产物可接受度的影响见图 1。不同反应时间样品之间秩和之差的绝对值见表 4。

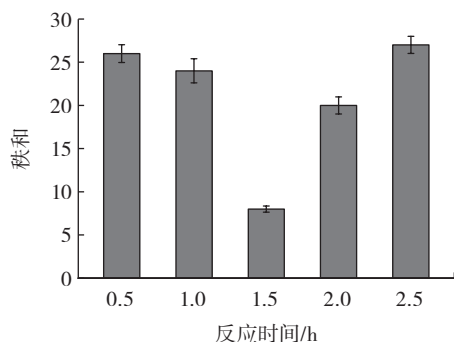


图 1 不同反应时间美拉德反应产物的感官评价秩和

Fig.1 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products with different reaction time

表 4 不同反应时间样品之间秩和之差的绝对值

Table 4 Absolute value of difference in rank sum between samples with different reaction time

反应时间/h	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	2	18	6	1
1.0	-	16	4	3
1.5	-	-	12	19
2.0	-	-	-	7
样品间显著性差异结果	1.5	0.5 1.0 2.0 2.5		

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

从图 1 和表 4 中可以看出,随着美拉德反应时间的延长,样品的秩和呈现出先降低后升高的趋势。由于  $F_{\text{test(反应时间)}}(13.71) > F(9.11)$ ,因此在显著性水平小于或等于 5% 时,5 个样品之间存在显著性差异。当反应时间为 1.5 h 时,样品的可接受度最高,且与其他 4 个样品存在显著性差异[在显著性水平 5% 下,反应时间为 1.5 h 时与其他样品(反应时间为 0.5、1.0、2.0、2.5 h)之间的秩和之差分别为 18、16、12、19,均大于 LSD 值(11.6)]。当反应时间为 0.5 h 和 1.0 h 时,由于反应时间较短,美拉德反应不充分,导致产生的风味物质较少且不足以掩盖酶解液的苦涩味<sup>[13]</sup>,因此样品的可接受度并不高。穆红等<sup>[14]</sup>研究发现适当的反应时间

有助于美拉德反应风味成分的积累,随着反应时间的延长,其中游离氨基酸和挥发性成分均出现了先上升后下降的趋势。在本试验中,反应时间超过 1.5 h 后,整体可接受度的降低可能与游离氨基酸和挥发性成分的损失有关。因此选择美拉德反应时间为 1.2、1.5、1.8 h 进行后续试验。

#### 2.1.2 美拉德反应葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比的确定

葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比对美拉德反应产物可接受度的影响见图 2。不同葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比样品之间秩和之差的绝对值见表 5。

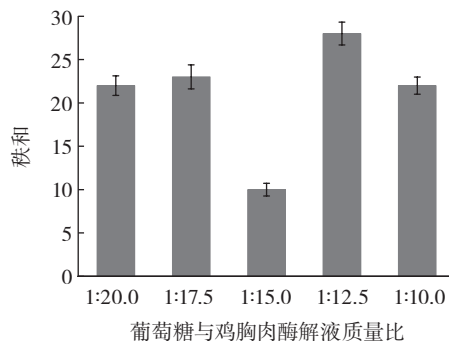


图 2 不同葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比美拉德反应产物的感官评价秩和

Fig.2 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products under different mass ratios of glucose to enzymatic hydrolysate of chicken breast

表 5 不同葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比样品之间秩和之差的绝对值

Table 5 Absolute value of difference in rank sum between samples under different mass ratios of glucose to enzymatic hydrolysate of chicken breast

葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比	1:17.5	1:15.0	1:12.5	1:10.0
1:20.0	1	12	6	0
1:17.5	-	13	5	1
1:15.0	-	-	18	12
1:12.5	-	-	-	6
样品间显著性差异结果	1:15.0	1:20.0 1:17.5 1:12.5 1:10.0		

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

从图 2 和表 5 中可以看出,当葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比为 1:15.0 时样品的秩和最低,可接受度最高,随着葡萄糖添加量的进一步增加,接受度降低,分析原因可能为过量的葡萄糖加速了体系的焦糖化反应<sup>[15]</sup>,使其褐变加重并产生焦糊味,最终导致样品的可接受度呈下降的趋势。因  $F_{\text{test(葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比)}}(10.06) > F(9.11)$ ,故可认为,在显著性水平小于或等于 5% 时,5 个样品之间存在显著性差异。葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比为 1:15.0 时与其他样品之间秩和之差(12、13、18、12)均大于 LSD 值(11.6),说明该样品

与其他样品之间存在显著性差异。因此选择美拉德反应葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比为 1:14、1:15、1:16 进行后续试验。

### 2.1.3 美拉德反应温度的确定

反应温度对美拉德反应产物可接受度的影响见图 3。不同反应温度样品之间秩和之差的绝对值见表 6。

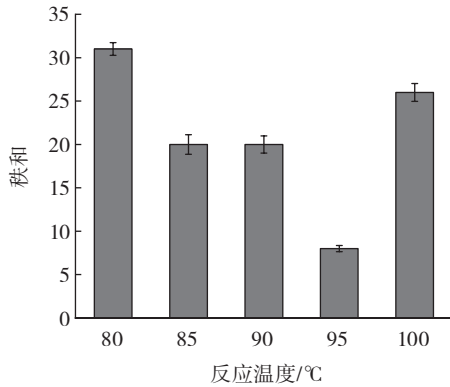


图 3 不同反应温度美拉德反应产物的感官评价秩和

Fig.3 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products at different reaction temperatures

表 6 不同反应温度样品之间秩和之差的绝对值

Table 6 Absolute value of difference in rank sum between samples at different reaction temperatures

反应温度/°C	85	90	95	100
80	11	11	23	5
85	-	0	12	6
90	-	-	12	6
95	-	-	-	18
样品间显著性差异结果	95	80 85 90 100		

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

从图 3 和表 6 中可以看出,美拉德反应温度为 95 °C 时的样品的秩和最低,表明感官接受度最高。因  $F_{\text{test(温度)}}(16.91) > F(9.11)$ ,故可认为,在显著性水平小于或等于 5% 时,5 个样品之间存在显著性差异。反应温度为 95 °C 时所制备的样品与其他样品之间秩和之差分别为 23、12、12、18,均大于 LSD 值(11.6),因此该样品与其他样品之间存在显著性差异。Ma 等<sup>[16]</sup>的研究表明温度影响美拉德反应主要是影响蛋白质在高温下发生的变化。Tan 等<sup>[17]</sup>提出温度不同会导致美拉德反应沿不同的途径进行,因此在不同温度下体系的褐变程度与低分子风味中间体的生成量有很大的差异。在本试验中,不同反应温度导致样品的可接受度有所差异,温度较低时体系中美拉德反应不充分,产生风味物质较少,样品的可接受度低;温度过高则会导致美拉德反应过度产生焦糊味,因此选择美拉德反应温度为 92、95、98 °C 进行后续试验。

### 2.2 美拉德反应正交优化结果

鸡胸肉酶解液美拉德反应工艺正交优化结果如表 7 所示。

表 7 鸡胸肉美拉德反应工艺正交试验结果

Table 7 Results of orthogonal test for Maillard reaction process of chicken breast

试验号	A 反应温度/°C	B 反应时间/h	C 葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比	感官评分
1	92	1.2	1:14	60.93
2	92	1.5	1:15	63.86
3	92	1.8	1:16	66.36
4	95	1.2	1:15	68.79
5	95	1.5	1:16	62.71
6	95	1.8	1:14	61.50
7	98	1.2	1:16	57.50
8	98	1.5	1:14	67.07
9	98	1.8	1:15	58.71
$k_1$	63.71	62.41	63.17	
$k_2$	64.33	64.55	63.79	
$k_3$	61.10	62.19	62.19	
R	3.24	2.36	1.60	
理论最优	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	

由表 7 可知,各因素对样品感官评分的影响大小顺序为反应温度(A)>反应时间(B)>葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比(C)。在正交试验中,感官评分最高组为第 4 组(实际最优组),即美拉德反应温度 95 °C,反应时间 1.2 h,葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比 1:15。对 3 个因素的  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  值进行分析后得到理论最优组合为 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>,即美拉德反应温度 95 °C,反应时间 1.5 h,葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比 1:15。由于实际最优组与理论最优组并不一致,因此试验进一步将理论最优组与实际最优组进行了验证分析,两者的感官评分结果分别为 73.57 与 69.14,理论组感官结果明显高于实际组,因此,确定美拉德反应最佳工艺:美拉德反应温度为 95 °C,反应时间为 1.5 h,葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比为 1:15。

### 2.3 酵母蛋白添加量的确定

酵母蛋白添加量对美拉德反应产物可接受度的影响见图 4。不同酵母蛋白添加量样品之间秩和之差的绝对值见表 8。

从图 4 和表 8 可看出,当酵母蛋白添加量为 12.5% 时,样品的秩和最低,表明可接受度最高。因  $F_{\text{test(酵母蛋白添加量)}}(9.14) > F(9.11)$ ,故可认为,在显著性水平小于或等于 5% 时,5 个样品之间存在显著性差异。酵母蛋白添加量为 12.5% 时与其他样品之间秩和之差分别为 16、13、12、14,均大于 LSD 值(11.6),因此该样品与其他样品之间存在显著性差异。当酵母蛋白添加量低时,不能完全掩盖美拉德反应产物的异味,口感较

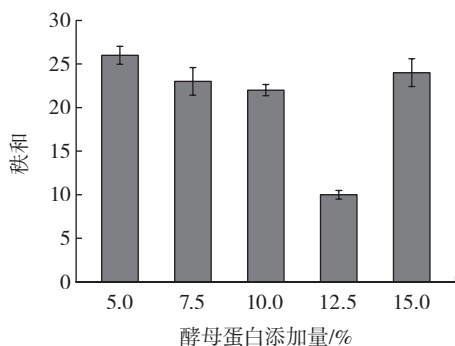


图4 不同酵母蛋白添加量美拉德反应产物的感官评价秩和  
Fig.4 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products with different amounts of yeast protein

表8 不同酵母蛋白添加量样品之间秩和之差的绝对值  
Table 8 Absolute value of difference in rank sum between samples with different amounts of yeast protein

酵母蛋白添加量/%	7.5	10.0	12.5	15.0
5.0	3	4	16	2
7.5	-	1	13	1
10.0	-	-	12	2
12.5	-	-	-	14
样品间显著性差异结果	<u>12.5</u>	<u>5.0</u>	<u>7.5</u>	<u>10.0</u>

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

差。过多添加会导致颗粒感较重,酵母蛋白味道过重导致可接受度下降。因此酵母蛋白添加量为12.5%。

## 2.4 美拉德反应产物调味调质

### 2.4.1 柠檬汁添加量的确定

柠檬汁添加量对美拉德反应产物可接受度的影响见图5。不同柠檬汁添加量样品之间秩和之差的绝对值见表9。

从图5和表9可看出,当柠檬汁添加量为2%时,样品的秩和最低,表明可接受度最高。因 $F_{test}(\text{柠檬汁添加量}) (11.99) > F(9.11)$ ,故可认为,在显著性水平小于或等于5%时,5个样品之间存在显著性差异。柠檬汁添加

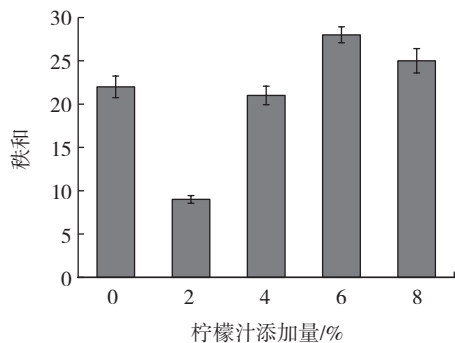


图5 不同柠檬汁添加量美拉德反应产物的感官评价秩和  
Fig.5 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products with different amounts of lemon juice

表9 不同柠檬汁添加量样品之间秩和之差的绝对值

Table 9 Absolute value of difference in rank sum between samples with different amounts of lemon juice

柠檬汁添加量/%	2	4	6	8
0	13	1	6	3
2	-	12	19	16
4	-	-	7	4
6	-	-	-	3
样品间显著性差异结果	<u>2</u>	<u>0</u>	<u>4</u>	<u>6</u>

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

量为2%时与其他样品之间秩和之差分别为13、12、19、16,均大于LSD值(11.6),因此该样品与其他样品之间存在显著性差异。柠檬汁不仅可以改善胃肠消化,还具有软化血管、加速血液循环等功能。宋社果等<sup>[18]</sup>对柠檬汁奶茶的加工工艺进行了研究,结果显示柠檬汁的添加可有效降低茶汁的苦涩味,提高其稳定性,并增加产品的清新口感。因此选择柠檬汁添加量为2%。

### 2.4.2 薄荷粉添加量的确定

薄荷粉添加量对美拉德反应产物可接受度的影响见图6。不同薄荷粉添加量样品之间秩和之差的绝对值见表10。

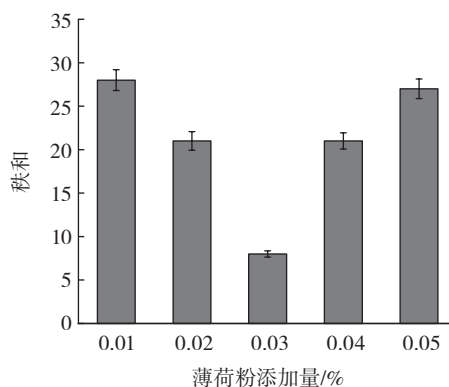


图6 不同薄荷粉添加量美拉德反应产物的感官评价秩和  
Fig.6 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products with different amounts of peppermint powder

表10 不同薄荷粉添加量样品之间秩和之差的绝对值

Table 10 Absolute value of difference in rank sum between samples with different amounts of peppermint powder

薄荷粉添加量/%	0.02	0.03	0.04	0.05
0.01	7	20	7	1
0.02	-	13	0	6
0.03	-	-	13	19
0.04	-	-	-	6
样品间显著性差异结果	<u>0.03</u>	<u>0.01</u>	<u>0.02</u>	<u>0.04</u>

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

从图6和表10可看出,当薄荷粉添加量为0.03%时,样品的秩和最低,表明感官可接受度最高。因 $F_{\text{test(薄荷粉添加量)}}(14.51) > F(9.11)$ ,故可认为,在显著性水平小于或等于5%时,5个样品之间存在显著性差异。薄荷粉添加量为0.03%时与其他样品之间秩和之差分别为20、13、13、19,均大于LSD值(11.6),因此该样品与其他样品之间存在显著性差异。薄荷粉中含有类黄酮、氨基酸、萜类、醌类、酚类等化合物,其中主要的芳香物质有薄荷脑、大茴香脑、香芹酮、薄荷酮<sup>[19-20]</sup>。薄荷粉作为一种天然的香辛料,能够通过其独特的清凉香味帮助掩盖和减轻腥味,研究显示将薄荷粉加入牡丹籽油-枇杷汁爆珠中可以达到改善整体口感的作用<sup>[21]</sup>。因此选择薄荷粉添加量为0.03%。

#### 2.4.3 甘露糖醇添加量的确定

甘露糖醇添加量对美拉德反应产物可接受度的影响见图7。不同甘露糖醇添加量样品之间秩和之差的绝对值见表11。

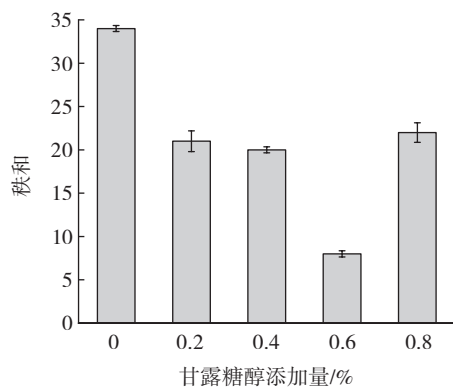


图7 不同甘露糖醇添加量美拉德反应产物的感官评价秩和  
Fig.7 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products with different amounts of mannitol

表11 不同甘露糖醇添加量样品之间秩和之差的绝对值  
Table 11 Absolute value of difference in rank sum between samples with different amounts of mannitol

甘露糖醇添加量/%	0.2	0.4	0.6	0.8
0	13	14	26	12
0.2	-	1	13	1
0.4	-	-	12	2
0.6	-	-	-	14
样品间显著性差异结果	0	0.6	0.2	0.4 0.8

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

从图7和表11可看出,当甘露糖醇添加量为0.6%时,样品的秩和最低,表明感官接受度最高。因 $F_{\text{test(甘露糖醇添加量)}}(19.43) > F(9.11)$ ,故可认为,在显著性水平小于或等于5%时,5个样品之间存在显著性差异。甘露糖醇添加量为0.6%时与其他样品之间秩和

之差分别为26、13、12、14,均大于LSD值(11.6),因此该样品与其他样品之间存在显著性差异;当甘露糖醇添加量为0%时,与其他样品之间秩和差为13、14、26、12,均大于LSD值(11.6),表明未添加甘露糖醇的样品与其他样品差异性显著。甘露糖醇作为常见的甜味剂,广泛应用于食品领域。在黄火梅等<sup>[22]</sup>研究中,选择添加5%甘露糖醇以解决现有酥油茶粉中麦芽糊精添加导致产品升糖指数高的问题。当甘露糖醇添加量在0~0.4%时,甜味不足无法完全掩盖异味,感官结果较差,添加量为0.8%时,过量的甘露糖醇加入后导致样品甜味掩盖特有的肉香和鲜味。因此选择甘露糖醇添加量为0.6%。

#### 2.4.4 黄原胶添加量的确定

黄原胶添加量对美拉德反应产物可接受度的影响见图8。不同黄原胶添加量样品之间秩和之差的绝对值见表12。

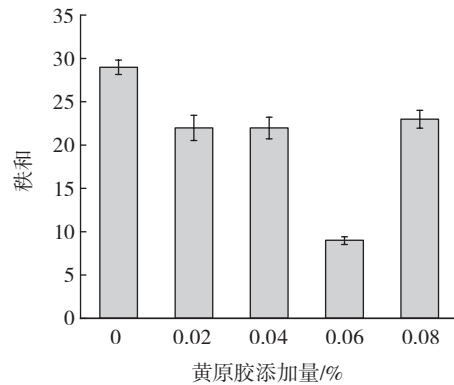


图8 不同黄原胶添加量美拉德反应产物的感官评价秩和  
Fig.8 Sensory evaluation rank sum of Maillard reaction products with different amounts of xanthan gum

表12 不同黄原胶添加量样品之间秩和之差的绝对值  
Table 12 Absolute value of difference in rank sum between samples with different amounts of xanthan gum

黄原胶添加量/%	0.02	0.04	0.06	0.08
0	7	7	20	6
0.02	-	0	13	1
0.04	-	-	13	1
0.06	-	-	-	14
样品间显著性差异结果	0	0.06	0.02 0.04 0.08	

注:经连续下划线连接的两个样品间无显著性差异,反之则有显著性差异( $p < 0.05$ )。-表示无效或重复对比组。

从图8和表12可看出,当黄原胶添加量为0.06%时,样品的秩和最低,表明感官可接受度最高。因 $F_{\text{test(黄原胶添加量)}}(12.23) > F(9.11)$ ,故可认为,在显著性水平小于或等于5%时,5个样品之间存在显著性差异。黄原胶添加量为0.06%时与其他样品之间秩和之差分别为20、13、13、14,均大于LSD值(11.6),因此该样品

与其他样品之间存在显著性差异。黄原胶作为一种耐酸、耐盐、热稳定性好的稳定剂,常用于食品饮料中。李俊玲<sup>[23]</sup>以黄原胶作为稳定剂,在红薯茎叶饮料开发研究中添加0.06%的黄原胶以达到调质的目的,与本次试验结果相似。因此选择黄原胶添加量为0.06%。

对鸡胸肉酶解液与优化后美拉德反应产物进行感官评价,结果显示鸡胸肉酶解液感官评分(38.3)远低于美拉德反应终产物评分(61.6),表明优化后美拉德反应产物在口感和风味上明显优于鸡胸肉酶解液。

### 3 结论

本研究以鸡胸肉酶解液为原料制备美拉德反应产物,并与酵母蛋白进行复配,通过柠檬汁、薄荷粉、甘露糖醇和黄原胶调配后得到一款风味口感较佳的蛋白饮品。采用单因素和正交试验,以整体可接受度为指标进行排序,最终确定美拉德反应最佳工艺条件为反应温度95℃、葡萄糖与鸡胸肉酶解液质量比为1:15、反应时间1.5h;同时通过单因素试验确定酵母蛋白添加量12.5%,最优调配工艺为柠檬汁添加量2%、薄荷粉添加量0.03%、甘露糖醇添加量0.6%、黄原胶添加量0.06%。酶解液经美拉德反应及调味调质后,其口感和风味得到大大改善。本研究为酶解液的风味改善以及美拉德反应产物和酵母蛋白在饮品开发中的应用提供了数据支撑。

### 参考文献:

[1] PASIAKOS S M, AGARWAL S, LIEBERMAN H R, et al. Sources and amounts of animal, dairy, and plant protein intake of US adults in 2007-2010[J]. *Nutrients*, 2015, 7(8): 7058-7069.

[2] 王晓薇. 固原鸡不同群体生产性能及鸡肉营养成分的试验研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2013.

WANG Xiaowei. Experimental study on production performance and nutritional composition of Guyuan chicken in different groups [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2013.

[3] CLEMENTE A. Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2000, 11(7): 254-262.

[4] 李自会. 鸡肉风味基料的酶解制备及其呈味机理研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023.

LI Zihui. Enzymatic preparation of chicken flavor base and its flavor mechanism[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023.

[5] 朱生林, 王永福. 酶解鸡肉制备鸡精调味料[J]. *食品工业*, 2023, 44(5): 30-33.

ZHU Shenglin, WANG Yongfu. Making chicken bouillon seasoning by enzymatic hydrolysis of chicken carcasses[J]. *The Food Industry*, 2023, 44(5): 30-33.

[6] DANEHY J P. Maillard reactions: Nonenzymatic browning in food systems with special reference to the development of flavor[J]. *Advances in Food Research*, 1986, 30: 77-138.

[7] 张翼鹏, 段焰青, 张晓燕, 等. 美拉德反应及其产物在食品改性中的应用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(11): 175-182.

ZHANG Yipeng, DUAN Yanqing, ZHANG Xiaoyan, et al. Research progress on the application of Maillard reaction and its prod-

ucts in improvement of functional properties of food[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(11): 175-182.

[8] 汤龙, 宋焕禄, 王丽金. 不同分子质量大豆蛋白和鸡肉酶解物的美拉德反应产物风味特征分析[J]. *食品科学技术学报*, 2023, 41(3): 148-162.

TANG Long, SONG Huanlu, WANG Lijin. Flavor characterizations of Maillard reaction products of enzymatic hydrolysates of soybean and chicken with different molecular weights[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2023, 41(3): 148-162.

[9] HE S D, ZHANG Z Y, SUN H J, et al. Contributions of temperature and L-cysteine on the physicochemical properties and sensory characteristics of rapeseed flavor enhancer obtained from the rapeseed peptide and D-xylose Maillard reaction system[J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 128: 455-463.

[10] AHIWE E U, TEDESCHI DOS SANTOS T T, GRAHAM H, et al. Can probiotic or prebiotic yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) serve as alternatives to in-feed antibiotics for healthy or disease-challenged broiler chickens? : A review[J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2021, 30(3): 100164.

[11] JÄRVIO N, PARVIAINEN T, MALJANEN N L, et al. Ovalbumin production using *Trichoderma reesei* culture and low-carbon energy could mitigate the environmental impacts of chicken-egg-derived ovalbumin[J]. *Nature Food*, 2021, 2(12): 1005-1013.

[12] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 感官分析方法学 排序法: GB/T 12315—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Sensory analysis Methodology Ranking: GB/T 12315—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

[13] 侯钰柯, 蒋宇飞, 康明丽, 等. 美拉德反应制备鸡肉风味基料工艺优化及呈味特性分析[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(17): 198-206.

HOU Yuke, JIANG Yufei, KANG Mingli, et al. Optimization of Maillard reaction for the preparation of chicken flavor base material and the analysis of its flavor[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(17): 198-206.

[14] 穆红, 罗瑞明, 李亚蕾. 热处理对牛骨酶解液美拉德反应产物呈味物质及挥发性成分的影响[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(9): 181-191.

MU Hong, LUO Ruiming, LI Yalei. Effects of heat treatment on flavor and volatile components of Maillard reaction products from bovine bone hydrolysate[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(9): 181-191.

[15] 刘美娇, 黎铸毅, 陈秋翰, 等. 酶解-美拉德反应制备金鲳鱼调味基料的工艺研究及风味分析[J]. *中国调味品*, 2024, 49(6): 83-90, 118.

LIU Meijiao, LI Zhuyi, CHEN Qiuhan, et al. Study on preparation process of seasoning basic material of *Trachinotus ovatus* by enzymatic hydrolysis - Maillard reaction and flavor analysis[J]. *China Condiment*, 2024, 49(6): 83-90, 118.

[16] MA X B, HOU F R, ZHAO H H, et al. Conjugation of soy protein isolate (SPI) with pectin by ultrasound treatment[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 108: 106056.

[17] TAN Z W, YU A N. Volatiles from the Maillard reaction of L-ascorbic acid with L-glutamic acid/L-aspartic acid at different reaction times and temperatures[J]. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 2012, 7(4): 563-571.