

# 谷胱甘肽对 L-亮氨酸苦味和厚感的增强效果

黄文垒<sup>1</sup>, 林泽原<sup>2</sup>, 毕继才<sup>2</sup>

(1. 江苏食品药品职业技术学院酒店学院, 江苏淮安 223003) (2. 河南科技学院食品学院, 河南新乡 453003)

**摘要:** 本研究为探究谷胱甘肽(GSH)与苦味之间的增味关系, 对混合溶液进行了感官评定, 并且在单因素实验的基础上运用 Box-Behnken 中心组合实验设计以及响应面分析法以混合溶液稀释值(TD)、溶液 pH 值和溶解温度为响应因素对实验数据进行了处理, 单因素实验确定的最优参数为: 温度 40 °C, pH 值为 7, 稀释值为 15。此时谷胱甘肽的浓度是 16.67 mg/L, L-亮氨酸(L-Leu)的浓度是 3.00 g/L, 其与谷胱甘肽的浓度比为 180:1。通过响应面优化试验得出的最佳增味条件为: 温度为 38 °C, pH=7, 稀释值是 16.9, 此时的  $C_{GSH} \approx 14.80$  mg/L,  $C_{L-Leu} = 3.00$  g/L,  $C_{L-Leu} : C_{GSH} = 202.8:1$ 。本实验的进行为 kokumi 感的增味协同效用的研究提供了参考, 具有一定的借鉴意义, 并且该成果为咖啡和茶等苦味饮料所独有风味在口感上的进一步升级提供了可能。

**关键词:** kokumi 感; 谷胱甘肽; L-亮氨酸; 单因素实验; 响应面法

文章编号: 1673-9078(2020)03-245-251

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.032

## Enhancing Effect of Glutathion on the Bitter Taste and Thickening Sensation of L-Leucine

HUANG Wen-lei<sup>1</sup>, LIN Ze-yuan<sup>2</sup>, BI Ji-cai<sup>2</sup>

(1. Hotel College, Jiangsu Food & Pharmaceutical Science College, Huai'an 223003 China)

(2. School of Food Science, He'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

**Abstract:** In order to explore the relationship between glutathione (GSH) and bitterness, sensory evaluation of their mixed solutions was carried out. Box-Behnken center composite experimental design and response surface analysis method (using solution dilution value (TD), solution pH and dissolution temperature as the response factors) were used on the basis of single factor experiments for experimental data processing. The optimal parameters determined by single factor experiments were: temperature 40 °C, pH 7, dilution value 15 (under which the concentrations of glutathione and L-Leucine were 16.67 mg/L and 3.00 g/L, respectively, with the concentration ratio of L-Leucine (L-Leu) to glutathione as 180:1). The optimum flavor-enhancing conditions obtained by the response surface optimization tests were: temperature 38 °C, pH 7, dilution value 16.9, where  $C_{GSH} \approx 14.80$  mg/L,  $C_{L-Leu} = 3.00$  g/L,  $C_{L-Leu} : C_{GSH} = 202.8:1$ . This research provides a reference for the study on the synergistic effect of kokumi sensation, which is of significance, especially the demonstrated feasibility of further improvement of the unique flavor of the bitter beverage such as coffee and tea.

**Key words:** Kokumi sensation; Glutathione; L-leucine; Single factor experiment; Response surface method

引文格式:

黄文垒, 林泽原, 毕继才. 谷胱甘肽对 L-亮氨酸苦味和厚感的增强效果[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 245-251

HUANG Wen-lei, LIN Ze-yuan, BI Ji-cai. Enhancing effect of glutathion on the bitter taste and thickening sensation of L-leucine, 2020, 36(3): 245-251

1908 年, 日本科学家池田将海带 kombu 的活性

收稿日期: 2019-08-16

基金项目: 河南省教育厅高等学校重点科研项目(19A550008); 河南科技学院博士启动基金(205010617007); 河南科技学院博士后启动资金; 河南科技学院大学生创新训练计划项目(2018CX56)

作者简介: 黄文垒(1984-), 男, 讲师, 研究方向: 调味品开发及中式菜肴工业化生产

通讯作者: 毕继才(1983-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品风味和烹饪科学

成分鉴定为谷氨酸。谷氨酸的味道与传统的 4 种基本味觉有着独特的区别, 他称之为“umami 味”<sup>[1]</sup>, 一种“美好的味道”, 也就是“鲜味”。而 Ueda 等<sup>[2]</sup>从大蒜中得到其水提物, 将其加入菜肴中出现了一种无法用酸甜苦辣等基本味表达的, 具有持久感、复杂感和圆润平衡的味道, 日本科学家将这种味道命名为 kokumi 味, 一种“令人感到愉快”的味道, 即我们所说的浓厚味。kokumi 味的传导途径与酸甜苦等基本味并不相同, 事实上不同食物中的 kokumi 成分的传导也是不一样的

[3-6]。鲜味和 kokumi 味的意思相近,对于 kokumi 味至今仍未有明确的定义<sup>[7]</sup>。

谷胱甘肽(GSH)能赋予物质 kokumi 味,是第一种被明确鉴定出具有浓厚感滋味效果的物质<sup>[8,9]</sup>。Tang 等<sup>[10]</sup>将具有浓厚感的还原型谷胱甘肽加入面包中以提高其风味,然而 kokumi 物质单独溶于水基本上没有味道或者味道很淡,所以无法使用一种纯的化学物质作为标准来测量它的 kokumi 强度,但添加少量就可以显著提升食物的风味或者降低其他呈味物质阈值,如谷氨酸钠、IMP,氯化钠等<sup>[11,12]</sup>。就如 Dunkel A 等<sup>[13]</sup>在菜豆中分离出的几乎无味的水提取物添加到模型鸡汤中,增强了鸡汤的口感和复杂性,并在舌头上产生了更持久的咸味感觉。而刘建彬等<sup>[14]</sup>利用超滤、凝胶层析对高纯度酵母抽提物中的滋味物质进行分离鉴定,确定了其中含有可增强鸡汤鲜度,浓厚感,持久感,复杂感的 5'-核苷酸和谷胱甘肽。

kokumi 类物质不仅直接对基本味产生贡献,还可以与其他风味物质产生交互作用,明显提升或改变原有味感<sup>[15]</sup>。目前国内外对于味感的协同效应研究主要集中在呈鲜味方面,尤其是对于谷氨酸钠,肌苷酸,5'-核苷酸等的相互协同作用研究相对较多,而对于 kokumi 味感增味方面的文献较为少见。而本文则主要从溶液 pH,溶剂温度以及稀释倍数三个方面探究谷胱甘肽对苦味物质增味的最佳条件。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

L-亮氨酸,北京索莱宝公司;谷胱甘肽,北京索莱宝公司;食品级无水柠檬酸,潍坊英轩实业有限公司;食品级碳酸氢钠,南京甘汁园糖业有限公司;超纯水。

### 1.2 仪器与设备

上海雷磁精密酸度计 PHS-3G,上海仪电科学仪器股份有限公司;EMS-20A 磁力搅拌水浴锅,康恒仪器有限公司;万分之一电子天平,捷久计量衡器(上海)有限公司;电热恒温真空干燥箱 DZF-6090,上海精密科学仪器有限公司。

### 1.3 感官评价方法

感官评定小组参考 GB/T 16291.1-2012 和 Schindler A 等<sup>[16]</sup>以及刘建斌等<sup>[14]</sup>的方法并略作改动,在食品和烹饪专业挑选八名有感官评定理论基础的学

生组成感官评价小组,八名感官评价小组成员为五女三男。对成员进行基本味觉培训,即本实验的感官评价小组成员每周进行一次基本味觉及 kokumi 味感的训练,即用 1.00 g/L 的柠檬酸训练酸味、35.00 g/L 的蔗糖训练甜味、3.00 g/L 的 L-亮氨酸训练苦味、用加入 0.25 g/L 的谷胱甘肽的鸡汤训练 kokumi 味感,且小组成员对苦味、酸味,甜味和浓厚感的味觉认知具有一致性,感官评价员均采用啜食技术,具体就是待鉴评的溶液在口中旋转鉴评而不咽下,每个样品鉴评时间间隔 30 s~60 s 且都采用清水漱口<sup>[12]</sup>。去掉最低和最高值除以人数即为感官评分的最后结果。感官评分标准见表 1,参考 Molina E 等<sup>[17]</sup>的方法并略作改动。

表 1 感官评分标准

项目	轻微/分	适中/分	稍重/分	重度/分
苦味	0~10	10~20	20~30	30~40
Kokumi 味	0~10	10~20	20~30	30~40
甘味	0~2.5	2.5~5	5~7.5	7.5~10
酸味	0~2.5	2.5~5	5~7.5	7.5~10

### 1.4 确定阈值及稀释梯度

通过预实验确定 L-亮氨酸的阈值浓度为 3.00 g/L,谷胱甘肽的阈值浓度为 0.25 g/L,参考 Frank<sup>[18]</sup> 等的方法,采用滋味稀释分析(Taste dilution analysis, TDA)法取谷胱甘肽纯品和 L-亮氨酸纯品配成浓度为 0.25 g/L 和 3.00 g/L 的溶液并在 100 mL 的容量瓶中定容做母液,之后分别取 10 mL 母液,在保证 L-亮氨酸浓度不变的情况下按 10 倍、15 倍、20 倍、25 倍、30 倍、35 倍、40 倍、45 倍、50 倍的梯度用纯净水进行逐步稀释,与此相对应的谷胱甘肽的浓度分别为 25.00 mg/L、16.67 mg/L、12.50 mg/L、10.00 mg/L、8.33 mg/L、7.14 mg/L、6.25 mg/L、5.56 mg/L、5.00 mg/L。取各组分逐步稀释的样品溶液每次 5 mL,按照浓度依次降低的顺序呈送给 8 位感官评定员,每个稀释水平溶液采用三点差别试验进行评定。当某个稀释水平的溶液与 L-亮氨酸标准液之间的滋味差异刚好能被识别出来,记录此时的稀释倍数,即为稀释值(TD),TD 值为各评定员感官结果的平均值。在评定最后阶段,结合评定员意见选出最佳的稀释梯度为 10 倍、15 倍、20 倍、25 倍、30 倍。

### 1.5 单因素实验

以增味效果的感官评价为标准,研究溶剂的 pH 值,TD 和溶液温度对增味效果的影响,以确定最佳的增味条件。

#### 1.5.1 TD 对增味效果的影响研究

在室温 25 °C，溶液 pH 6.5 的条件下，对 L-亮氨酸浓度不变的混合溶液分别进行 10 倍、15 倍、20 倍、25 倍、30 倍稀释，然后对其溶液进行感官评价。

### 1.5.2 溶液 pH 值对增味效果的影响

在室温 25 °C，TD=15 的条件下，对 L-亮氨酸浓度不变，pH 值分别为 6、6.5、7、7.5、8 的混合溶液分别进行感官评价。

### 1.5.3 温度对增味效果的影响

在 TD=15，溶剂 pH=7 的条件下，使试剂分别在 25 °C、30 °C、35 °C、40 °C、45 °C 的溶剂中进行溶解，然后对其进行感官评价。

### 1.5.4 响应面法优化增味效果条件实验设计

响应面法是解决多变量问题的有效方法，在各种实验中可进行对多个因变量的优化。它涉及数学和统计技术，用于确定某一系统的最佳操作条件，或确定其如何受到感兴趣区域内一个或多个因变量的自变量的影响<sup>[19,20]</sup>。

结合单因素实验的结果和数据，采用 Box-Behnken 中心组合实验设计以及响应面分析法，以混合溶液稀释值、溶液 pH 值和溶解温度为响应因素优化增味效果条件。

表 2 Box-Behnken 中心组合实验设计水平表

Table 2 Design Level Table of Box-Behnken Center

试验因素	水平		
	-1	0	1
A pH	6.5	7	7.5
B 温度/ °C	35	40	43
C 稀释值	10	15	20

### 1.5.5 数据处理

采用 WPS Office 1.1.0(1454) Excle 和 SciDAVis 1.D008 数据分析软件对单因素实验数据进行分析，并做折线图。采用 Design-Expert V 11.1.0.1 对数据进行分析并作出等高线图和曲面图。

## 2 结果与分析

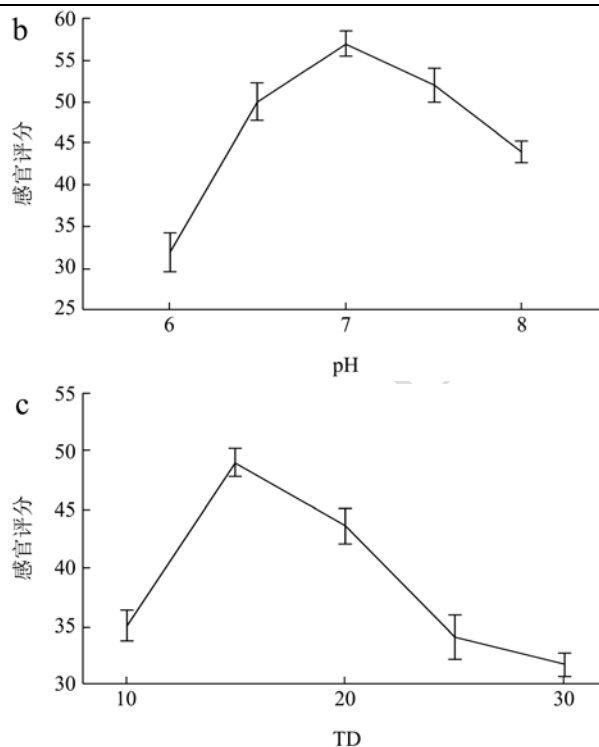
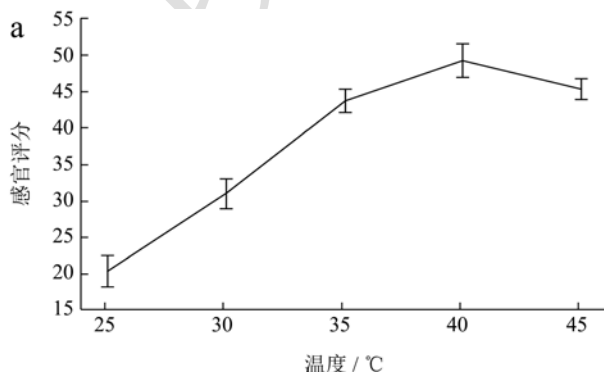


图 1 三因素对感官评分的影响

Fig.1 The Influence of Three Factors on Sensory Score

### 2.1 单因素实验分析

由图 1 中 a 知，在 TD 和溶液 pH 值相同的情况下，初始温度为 25 °C 时，感官评分最低，入口后苦味不明显，温度为 40 °C 时感官评分最高，此时苦味较明显。根据研究调查，甜味在 37 °C 左右最甜，高于或者低于这个温度则会越来越淡；酸味在 10 °C~40 °C 之间变化不大；而苦味则是在 38 °C 左右最苦，此时的温度与人体温度较为接近，味觉神经最灵敏，这很可能是进行感官评价感觉到苦味较明显的主要原因。由图 1 中 b 知，在温度和 TD 相同的情况下，溶液初始 pH 值为 6 时，苦味不太明显，也没有明显的绵延感。pH 值为 7 时，味道相对较苦，且在口中停留时间较其它 pH 值时略长。就像对牛肉辛肽 (BMP) 的研究，虽在不同 pH 下的味道不同，但是在 pH 6.5 时鲜味最重，而许多风味增强剂最有效的 pH 都在 7.0 左右<sup>[21]</sup>。由图 1 中 c 知，在温度和 pH 相同的条件下，TD=10 时，此刻的 C<sub>GSH</sub>=25.00 mg/L，苦味不明显。TD=15 时，C<sub>GSH</sub>≈16.67 mg/L，此时味道较苦，且在口中的滞留感较长，kokumi 味较明显，感官评分达到最大值，随着 TD 的增大，谷胱甘肽的浓度逐渐减小，感官评分先是升高后降低，当 TD=30 时达到最低点，C<sub>GSH</sub>≈8.33 mg/L。这可能是因为在稀释倍数比较小的时候，虽然谷胱甘肽浓度较大，但由于味道比较收敛，人的味觉并不能清晰地感觉到苦味，反而可能因为谷胱甘肽中

的半胱氨酸侧链集团上含有的巯基，在舌头上产生的轻微的收敛感而在一定程度上增加了味觉的 kokumi 味<sup>[22]</sup>；随着稀释倍数逐渐增大，各种味道呈发散状，感官评定时的感觉较稀释倍数小时更明显。故 TD=15, C<sub>GSH</sub>≈16.67 mg/L 时，人的味觉感受到的苦味最明显。

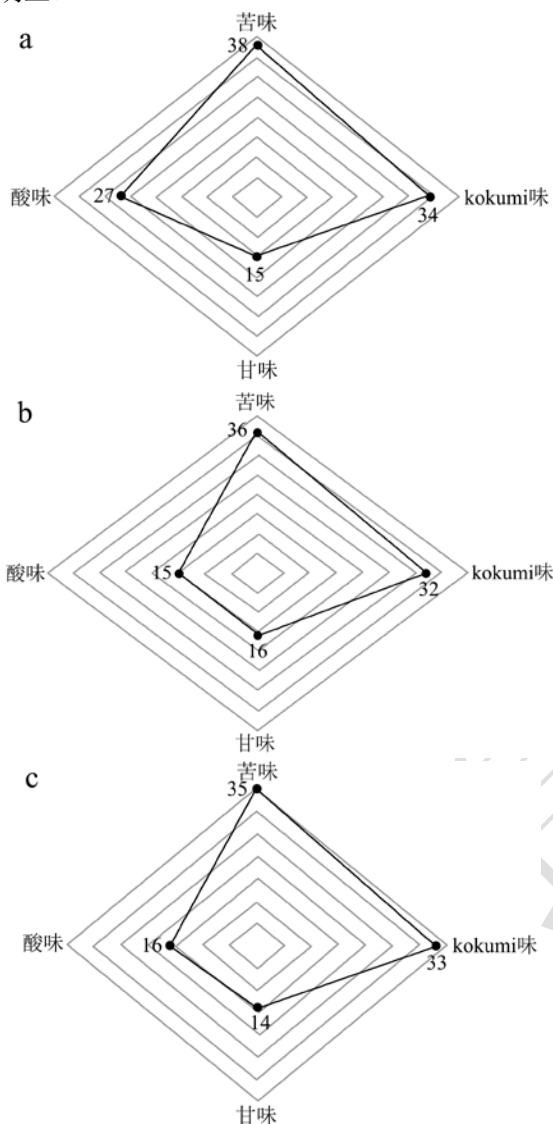


图 2 三种因素对各味感官评分影响的雷达图

Fig.2 Radar Map of the Influence of Three Factors on Sensory Scores

图 2 中 a、b、c 分别是在单因素实验的基础上，在最佳温度、最佳 pH 和最佳 TD 的条件下分别对各味感官评分影响绘制雷达图，图中对溶液中的苦味，kokumi 味，甘味和酸味进行感官评价。由上述三个雷达图可以清晰的看出，三种因素对苦味和 kokumi 味影响较大，而对甘味和酸味影响较小，而在实际的操作中负责感官评价的同学先感觉到嘴里的苦味，并且随着条件的变化在口中的绵延感也会有变化，就是停留时间的不同，也有部分同学能感觉到甘味和酸味，

但不明显。

## 2.2 响应面优化设计结果与分析

利用 Design-Expert.V11.1.0.1 软件对溶剂 pH 值，TD 和溶解温度的试验数据进行响应面优化分析，得到二次多项回归方程式为： $Y=62.40+1.80A+11.28B+0.5750C-1.40AB-1.00AC+4.15BC-9.58A^2-11.43B^2-7.83C^2$ 。对感官评分的回归模型进行方差分析如表 4 所示。模型为极显著 ( $p<0.01$ ) 且失拟项为不显著 ( $p>0.05$ )，故此二次多项式回归模型能较好的反应试验的真实值。根据二次回归模型 F 值的大小，可得三个响应变量对增味效果感官评分的影响顺序为  $B>A>C$ ，即温度  $>$  pH  $>$  稀释倍数。方差分析表明，模型的实用性良好，具有较好的代表性；模型确定系数  $R^2=0.95$ ，模型调整确定系数  $R^2_{Adj}=0.89$ ，说明该模型在取值范围内符合响应值 89.19% 的变化，可信度较高。C.V.=8.54%，精密度为 11.08，说明操作可信，精密度较好，可有效分析和预测增味效果的最佳条件。

表 3 Box-Behnken 试验设计及响应值

Table 3 Box-Behnken Test Design and Response Values

试验号	A	B	C	感官评分
1	6.5	43	15	55
2	6.5	35	15	47
3	6.5	39	20	46
4	6.5	39	10	40
5	7	39	15	60
6	7	35	20	30
7	7	39	15	62
8	7	43	20	54
9	7	43	10	48
10	7	39	15	60
11	7	35	10	40
12	7	39	15	66
13	7	39	15	64
14	7.5	39	10	46
15	7.5	39	20	48
16	7.5	35	15	30
17	7.5	43	15	56

响应面中的曲面图和等高线图都可以反映出当其中一个条件一定时，其余两个不同条件的相互交互作用对增味效果的影响。曲面图较等高线图更能直观反映出两个条件的作用效果强弱且曲面的升降幅度越大，作用效果越强，而等高线的形状越接近椭圆形或者椭圆的幅度越大，则表明两因素的交互作用越强，反之越接近圆形交互作用越弱。

表 4 增味效果感官评分方差分析

Table 4 Sensory Score Variance Analysis of Taste Enhancement

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性
模型	2455.57	9	272.84	15.67	<0.01	**
A	25.92	1	25.92	1.49	0.26	
B	1017.01	1	1017.01	58.41	<0.01	**
C	2.65	1	2.65	0.15	0.05	
AB	7.84	1	7.84	0.45	0.06	
AC	4.00	1	4.00	0.23	0.04	*
BC	68.89	1	68.89	3.96	0.03	*
A2	386.02	1	386.02	22.17	<0.01	**
B2	549.60	1	549.60	31.56	<0.01	**
C2	257.81	1	257.81	14.81	<0.01	**
残差	121.89	7	17.41			
失拟项	94.69	3	31.56	4.64	0.09	
纯误差	27.20	4	6.80			
总和	2577.46	16				

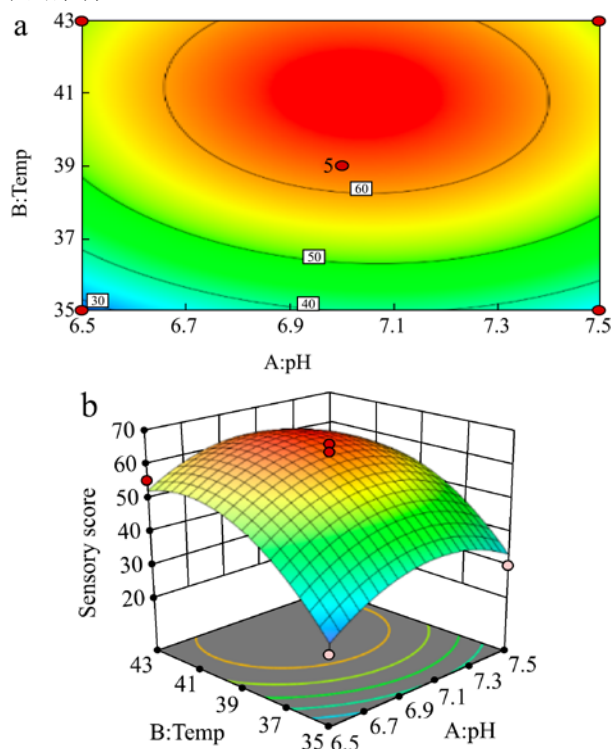
注：\*代表在  $p < 0.05$  水平显著，\*\*代表在  $p < 0.01$  水平极显著。

由图 3 中 a 等高线图可知，等高线接近于椭圆形，表明溶剂的 pH 值和温度的交互作用对增味效果有影响。由曲面图可知，溶剂的 pH 值和温度处于最优条件，当固定 TD 时，增味效果的感官评分会随着溶剂的 pH 值和温度的逐渐升高呈现先升高后降低的趋势，当 pH 值在 6.5~7 范围内时感官评分增加，在 7~7.5 范围时感官评分下降。由图 3 中 c 图等高线图知，等高线为椭圆形，溶剂温度和 TD 的交互作用对增味效果的感官评分有较为显著的影响。由曲面图可知感官评分随着溶剂的温度和 TD 的增高呈现先升高后降低的趋势，幅度较为明显。固定溶剂 pH 不变时，感官评分随着温度的升高先是上升，幅度较为明显，之后又呈现下降趋势。随着 TD 的升高，出现先升高再下降的趋势。由图 3 中 e 图等高线图知，等高线接近椭圆形，表明溶剂的 pH 值和 TD 的交互作用对增味效果有显著影响。由曲面图可知，感官评分随着溶剂 pH 和 TD 的增加呈现出先上升后下降的趋势。固定 TD 不变，增味效果感官评分在 pH 处于 6.9~7.1 范围内时，呈现上升趋势，增幅较为明显，在 pH 处于 7.1~7.5 范围内时，呈现下降趋势；固定 TD 不变，增味效果感官评分在温度处于 35 °C~41 °C 范围内时呈现上升趋势，增幅较为明显，当温度处在 41 °C~43 °C 范围内时呈现下降趋势，降幅不明显。

### 2.3 响应面验证试验

通过 Design-Expert.V11.1.0.1 软件对溶剂 pH 值，TD 和溶解温度的试验数据进行响应面优化试验分析，

得到最佳增味效果的条件，响应面优化给出预测增味效果理论最佳增味条件为：溶剂 pH=6.93,溶液温度为 38.12 °C，TD=16.89，理论感官评分为 75。考虑到实际操作的便利性，将预测条件调整为溶剂 pH=7，溶液温度为 38 °C，TD=16.9，此时的  $C_{GSH} \approx 14.80 \text{ mg/L}$ ， $C_{L\text{-Leu}} = 3000.00 \text{ mg/L}$ ，在此条件下验证理论模型的可靠性，最终得到的感官评分为 72，接近预测值 75，偏差较小，说明该模型的可信度高，能较好的预测增味效果的条件。



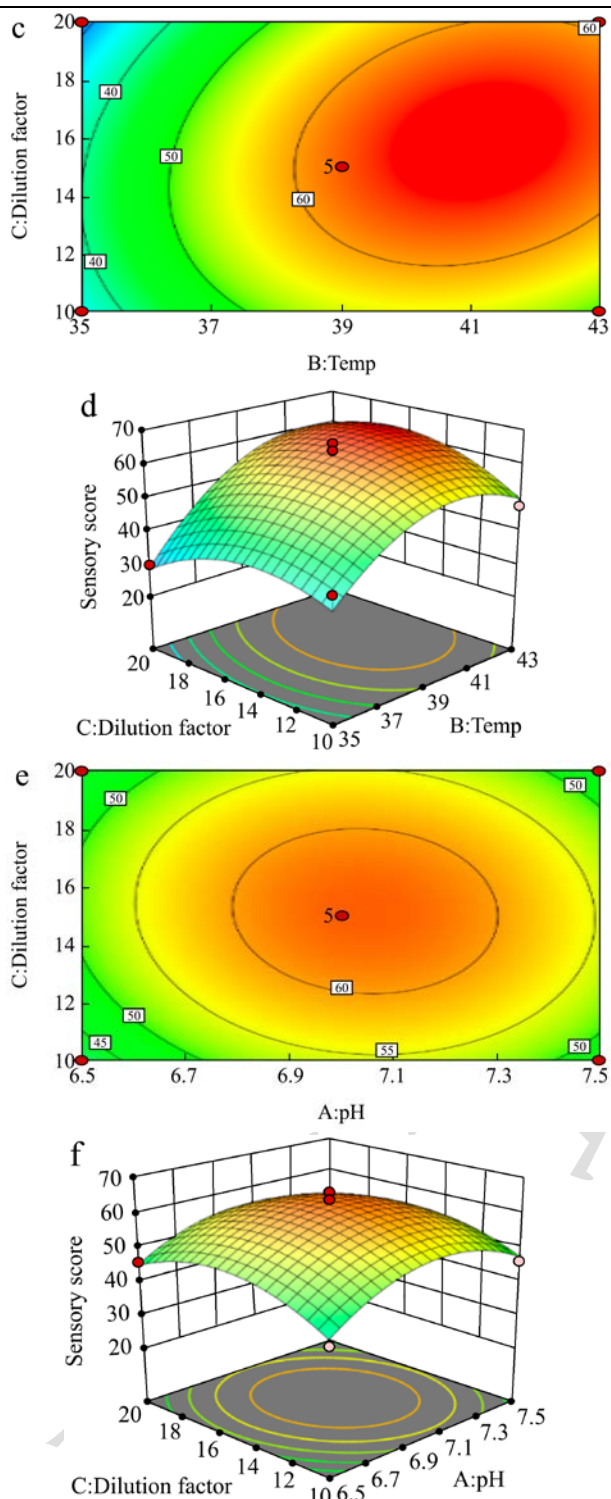


图3 各因素交互作用对增味效果影响的等高线图和曲面图

Fig.3 The contour diagram and surface diagram of the influence of the interaction of various factors on the flavoring effect

### 3 结论

3.1 本文通过感官评定法,运用单因素实验,响应面法对增味效果条件进行优化。选定混合溶液的稀释倍数,溶剂温度以及溶剂 pH 值为三个自变量,增味效

果的感官评分为响应值,建立二次回归模型,模型为极显著 ( $p=0.0008$ ) 且失拟项为不显著 ( $p=0.09>0.05$ )。单因素实验结果: 温度 40 °C, pH=7 时, TD=15, 此时的  $C_{GSH}\approx 16.67$  mg/L,  $C_{L-Leu}=3.00$  g/L,  $C_{L-Leu}:C_{GSH}=180:1$ 。响应面优化之后的结果为: pH=7, 溶液温度为 38 °C, TD=16.9, 此时的  $C_{GSH}\approx 14.80$  mg/L,  $C_{L-Leu}=3.00$  g/L,  $C_{L-Leu}:C_{GSH}=202.8:1$ 。感官评分最接近预测值, 增味效果最好。

3.2 本实验对于谷胱甘肽与苦味之间的研究证明了谷胱甘肽可以在一定程度上增强苦味, 延长了苦味的滞留感, 赋予食品悠长的味觉体验, 这为苦味食品风味的科学研究提供了参考。但是感官评分因个体差异且有主观性, 所以存在一定误差, 此外 kokumi 味在人体内的感知方式不同于五种基本味, 对于 kokumi 味的呈味机理和直观的检测方法还需要更进一步的研究。

### 参考文献

- [1] Kurihara K. Umami the fifth basic taste: history of studies on receptor mechanisms and role as a food flavor [J]. Biomed Research International, 2015, 1-10
- [2] Ueda Y, Sakaguchi M, Hirayama K, et al. Characteristic flavor constituents in water extract of garlic [J]. Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan, 1990, 54(1): 7
- [3] Miyamura N, Iida Y, Kuroda M, et al. Determination and quantification of kokumi peptide,  $\gamma$ -glutamyl-valyl-glycine, in brewed alcoholic beverages [J]. Journal of Bioscience & Bioengineering, 2015, 120(3): 311-314
- [4] Maruyama Y, Yasuda R, Kuroda M, et al. Kokumi substances, enhancers of basic tastes, induce responses in calcium-sensing receptor expressing taste cells [J]. PLOS ONE, 2012, 7(4)
- [5] Suzuki H, Nakafuji Y, Tamura T. New method to produce kokumi seasoning from protein hydrolysates using bacterial enzymes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(48): 10514-10519
- [6] Ohsu T, Amino Y, Nagasaki H, et al. Involvement of the calcium-sensing receptor in Human taste perception [J]. Journal of Biological Chemistry, 2010, 285(2): 1016-1022
- [7] Kuroda M, Kato Y, Yamazaki J, et al. Determination of  $\gamma$ -glutamyl-valyl-glycine in raw scallop and processed scallop products using high pressure liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2012, 134(3): 1640-1644
- [8] 冯涛,张治文,庄海宁,等.食品中 kokumi 物质的研究进展[J].

- 现代食品科技, 2016(12):380-386
- FENG Tao, ZHANG Zhi-wen, ZHUANG Hai-ning, et al. Research progress of kokumi substances in food [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 12: 380-386
- [9] Every D, Morrison S C, Simmons L D, et al. Distribution of glutathione in millstreams and relationships to chemical and baking properties of flour [J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(1): 57-61
- [10] Tang K X, Zhao C J, Michael G. Effect of Glutathione on the taste and texture of type i sourdough bread [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(21): 4321-4328
- [11] Ueda Y, Yonemitsu M, Tsubuku T, et al. Flavor characteristics of glutathione in raw and cooked foodstuffs [J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 1997, 61(12): 1977-1980
- [12] Thao Van Ho, Hideyuki Suzuki. Increase of 'Umami' and 'Kokumi' compounds in Miso fermented soybeans by the addition of bacterial  $\gamma$ -glutamyltranspeptidase [J]. International Journal of Food Studies, 2013, 2(1): 39-47
- [13] Dunkel A. Molecular and sensory characterization of  $\gamma$ -glutamyl peptides as key contributors to the kokumi taste of edible beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(16): 6712-6719
- [14] 刘建彬, 宋焕禄. 酵母抽提物鲜味(umami)及浓厚味(kokumi)滋味活性的评价与研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(1): 99-104
- LIU Jian-bin, SONG Huan-lu. Evaluation and research on the umami and kokumi taste activity of yeast extracts [J]. China Brewing, 2014, 33(01): 99-104
- [15] 周雪松, 赵谋明. 肽的呈味功能研究[J]. 中国调味品, 2005, 6: 38-42
- ZHOU Xue-song, ZHAO Mou-ming. Study on the taste function of peptides [J]. Chinese Condiment, 2005, 6: 38-42
- [16] 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 of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(23): 12578-1288
- [17] Molina E, Ramos M, Alonso L, et al. Contribution of low molecular weight water soluble compounds to the taste of cheeses made of cows', ewes' and goats' milk [J]. International Dairy Journal, 1999, 9(9): 613-621
- [18] Frank O, H Ottinger A, Hofmann T. Characterization of an intense bitter-tasting 1*H,4H*-quinolizinium-7-olate by application of the taste dilution analysis, a novel bioassay for the screening and identification of taste-active compounds in foods [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49(1): 231-238
- [19] Zhao L C, He Y, Deng X, et al. Response surface modeling and optimization of accelerated solvent extraction of four lignans from fructus schisandrae [J]. Molecules, 2012, 17(12): 3618-3629
- [20] Sharma S, Malik A, Satya S. Application of response surface methodology (RSM) for optimization of nutrient supplementation for Cr(VI) removal by *Aspergillus lentulus* AML05 [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 164(2-3): 1198-1204
- [21] Wang K, Maga J A, Bechtel P J. Taste properties and synergisms of beefy meaty peptide [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(4): 837-839
- [22] Toelstede S, Dunkel A, Hofmann T. A series of kokumi peptides impart the long-lasting mouthfulness of matured gouda cheese [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(4): 1440-1448
- (上接第 174 页)
- [26] Wang X, Li X, Chen L, et al. Preparation and characterisation of octenyl succinate starch as a delivery carrier for bioactive food components [J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 1218-1225
- [27] Ramírez C, Millon C, Nuñez H, et al. Study of effect of sodium alginate on potato starch digestibility during in vitro digestion [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 44: 328-332
- [28] Tian J, Ogawa Y, Shi J, et al. The microstructure of starchy food modulates its digestibility [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018: 1-12
- [29] Sasaki T, Kohyama K. Influence of non-starch polysaccharides on the in vitro digestibility and viscosity of starch suspensions [J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1420-1426