

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20231007004

# 百香果与柠檬对贵州红酸汤发酵品质的影响

石 彬<sup>1\*</sup>, 冉曜琦<sup>1</sup>, 李咏富<sup>1</sup>, 龙明秀<sup>1</sup>, 何扬波<sup>1</sup>, 罗其琪<sup>1</sup>, 李 伟<sup>2</sup>

(1. 贵州省农业科学院贵州省现代农业发展研究所, 贵阳 550009; 2. 贵州大学农学院, 贵阳 550009)

**摘 要:** **目的** 研究百香果、柠檬对贵州红酸汤发酵品质的影响。**方法** 选择不同浓度的百香果与柠檬作为添加物, 对发酵过程中酸汤中维生素 C (vitamin C, VC)、还原糖、pH、可滴定酸、氨基酸以及生物胺含量进行测定。**结果** 在发酵 40 d 时, 10% 添加量的百香果和柠檬的酸汤相较空白样品, VC 含量分别上升 8.25 mg/100 g 和 7.70 mg/100 g, 还原糖分别下降 1.08 mg/mL 与 1.89 mg/mL, pH 分别下降 0.24、0.37、可滴定酸含量分别上升 0.38% 与 0.48%, 其生物胺总量由 193.70 mg/kg 分别下降为 152.28 mg/kg 和 150.46 mg/kg, 在添加浓度 6%~8% 左右时, 天门冬氨酸、谷氨酸以及脯氨酸的含量明显增加。**结论** 百香果和柠檬能有效改善红酸汤品质与营养, 影响酸汤中 VC、还原糖、pH、可滴定酸、氨基酸含量, 降低有害的生物胺的量。二种添加物对酸汤发酵影响存在差异, 在实际发酵过程中需要根据需求选择合适的添加物与添加量。

**关键词:** 百香果; 柠檬; 红酸汤; 发酵

## Influence of *Passiflora edulis* and *Citrus limon* fruit on the fermentation quality of Guizhou red acid soup

SHI Bin<sup>1\*</sup>, RAN Yao-Qi<sup>1</sup>, LI Yong-Fu<sup>1</sup>, LONG Ming-Xiu<sup>1</sup>, HE Yang-Bo<sup>1</sup>, LUO Qi-Qi<sup>1</sup>, LI Wei<sup>2</sup>

(1. Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550009, China; 2. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang 550009, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the influence of *Passiflora edulis* and *Citrus limon* on the fermentation quality of Guizhou red acid soup. **Methods** The content of vitamin C (VC), reducing sugar, pH, titratable acid, amino acid and biogenic amine in the fermentation soup were determined with different concentrations of *Passiflora edulis* and *Citrus limon*. **Results** In 10% added amounts of passion fruit and citric acid soup at 40 d of fermentation, The VC content increased by 8.25 mg/100 mg and 7.70 mg/100 g respectively compared with the blank samples, Reduced sugars decreased by 1.08 mg/mL and 1.89 mg/mL, respectively, pH decreased by 0.24, 0.37, titratable acid content increased by 0.38% and 0.48%, respectively. The total amount of biogenic amines decreased from 193.70 mg/kg to 152.28 mg/kg and 150.46 mg/kg, respectively. The content of aspartate, glutamate and proline increased significantly when the concentration was about 6% to 8%. **Conclusion** *Passiflora edulis* and *Citrus limon* can effectively improve the quality and nutrition of red acid soup, affect the content of VC, reducing sugar, pH, titratable acid and amino acid in acid soup, and reduce the amount of harmful biological amines. There are differences in the effects of the 2 kinds of additives on the fermentation of acid soup. In the actual fermentation process, the appropriate

**基金项目:** 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2022]重点 010 号)、贵州省农科院青年基金科技项目(黔农科院青年科技基金[2022]18 号)

**Fund:** Supported by the Guizhou Provincial Science and Technology Support Project (Qianke Support [2022] Key10), and the Science and Technology Project of Youth Foundation of Guizhou Academy of Agricultural Sciences (Youth Science and Technology Foundation of Guizhou Academy [2022] No.18)

**\*通信作者:** 石彬, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品辐照加工。E-mail: 406140627@qq.com

**\*Corresponding author:** SHI Bin, Master, Assistant Professor, Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang 550009, China. E-mail: 406140627@qq.com

additives and amounts need to be selected according to the needs.

**KEY WORDS:** *Passiflora edulis*; *Citrus limon*; red acid soup; fermentation

## 0 引言

酸汤是贵州地区的一种传统的特色发酵食品<sup>[1-2]</sup>, 根据原料以及配料的不同, 又可以分为红酸汤、白酸汤以及黄酸汤等<sup>[3-5]</sup>。红酸汤主要由红辣椒和西红柿发酵而成<sup>[6]</sup>, 其色泽鲜艳, 酸辣可口, 能促进消化, 开胃生津, 在贵州人的饮食上占有重要地位<sup>[7-10]</sup>。红酸汤含有丰富的营养成分, 研究表明, 红酸汤原料中含有丰富的糖类、氨基酸、维生素以及矿物质等, 乳酸菌发酵后会产生丰富的有机酸、醇、醛类等风味营养物质<sup>[11-14]</sup>, 具有抗菌抑菌、防癌抗癌、降低血管疾病等作用<sup>[15-17]</sup>。

传统的红酸汤发酵原料主要为西红柿和红辣椒, 其制作工艺简单, 缺乏创新性, 导致其风味与营养成分也较为单一, 随着发酵的进行维生素 C (vitamin C, VC)、糖类、有机酸等营养物质流失严重, 发酵产生的有害代谢产物如生物胺、生物毒素等会影响产品的品质与安全<sup>[18-19]</sup>, 目前人们对食品的营养与安全越来越重视, 传统的红酸汤已经难以满足产品多元化的需求, 亟需发酵工艺的创新与发展。

百香果(*Passiflora edulis*)又名西番莲, 是一种广泛分布于热带和亚热带地区的水果<sup>[20]</sup>。百香果的果汁香气浓郁, 口感酸爽, 富含人体必需的多种氨基酸、维生素以及微量元素<sup>[21-22]</sup>, 在食品加工行业有着广泛的应用, 具有消除疲劳、提神醒酒、降脂降压、消炎去斑、护肤养颜等神奇功效<sup>[23]</sup>。柠檬(*Citrus limon*)原产东南亚, 为双子叶植物纲芸香科柑橘属枸橼类的重要植物, 具有悠久的栽培历史<sup>[24]</sup>。柠檬果实汁多肉脆, 具有浓郁的芳香气味, 同时含有丰富的维生素、氨基酸、膳食纤维等营养成分以及黄酮、酚酸、香精油等生物活性成分, 具有化痰止咳, 生津健胃的功效<sup>[25-26]</sup>。

目前关于增加红酸汤产品类别的研究较少, 仅有关于枸杞对红酸汤品质及风味的影响<sup>[7]</sup>。为了增加红酸汤产品的丰富性, 本研究选择柠檬和百香果作为添加物, 因二者具有酸爽的口味与独特的芳香成分<sup>[27-28]</sup>, 能够很好契合红酸汤的口感, 丰富其产品的口感层次; 同时百香果和柠檬富含丰富的 VC、有机酸以及糖类, 具有很好的抗氧化能力<sup>[29-30]</sup>, 能够有效提升红酸汤营养价值, 抑制有害代谢产物的生成<sup>[31]</sup>。通过加入不同添加量的百香果与柠檬, 分析其对贵州红酸汤发酵品质以及营养成分的影响, 以期对贵州红酸汤的产品多元化的研发提供技术支持和理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

红辣椒、西红柿样品(购自当地蔬菜市场)。

草酸、2,6-二氯酚、3,5-二硝基水杨酸、葡萄糖、NaOH、酚酞、乙腈(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 16 种氨基酸标准品(异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸、精氨酸)、8 种生物胺标准品(色胺、 $\beta$ -苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺、精胺)(色谱纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

FA-1004 电子天平(精度 0.1 mg, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司); CT14RD 高速台式冷冻离心机(上海天美科学仪器有限公司); Agilent 1260 高效液相色谱液相色谱仪[安捷伦科技(中国)有限公司]; 曼默博尔 A300 全自动氨基酸自动分析仪(北京镭欧森科技发展有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 红酸汤样品制作

选择新鲜的辣椒、西红柿清洗干净, 沥干表面的水分, 去除梗后分别放入破碎机中进行破碎。将破碎后的辣椒、西红柿与食盐按照 3:7:1 的质量比例充分搅拌均匀, 制成红酸汤原料。向原料中继续加入 0%、2%、4%、6%、8%、10% 不同比例的百香果汁、柠檬果汁、混合果汁后混合均匀, 称取 800 g 放入 1 L 土罐中, 最后在酸汤表面喷洒 5 mL 高度白酒, 于 25℃常温下进行厌氧发酵, 发酵时间 40 d, 每隔 10 d 称取酸汤发酵固体样品, 破碎研磨成汁, 过滤得到待样品。

#### 1.3.2 VC 含量测定

采用 2,6-二氯酚滴定法测定<sup>[32]</sup>。称取 5 g 待测样品, 加 2% 的草酸 5 mL, 定容至 100 mL, 充分混匀后, 5000 r/min 离心 10 min 后经 0.22  $\mu$ m 滤膜过滤, 得待测液。用已标定的 2,6-二氯酚溶液滴定至终点, 采用公式(1)计算样品中 VC 含量。

$$N = V_1 \times K \times V \times 100 / (W \times V_2) \quad (1)$$

式中:  $N$ : 每 100 g 样品所含的 VC 的量, mg;  $V_1$ : 滴定样品液所用去染料体积, mL;  $V_2$ : 样品测定时所用滤液体积, mL;  $V$ : 样品提取液的总体积, mL;  $K$ : 1 mL 染料能氧化抗坏血酸的质量, mg;  $W$ : 称取样品重量, g。

#### 1.3.3 还原糖含量测定

采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定<sup>[33]</sup>。按表 1 的方法, 配制 6 组不同浓度葡萄糖标准液。充分混匀后于沸水中加热煮沸 5 min, 流水冲冷却后向各试管加入 4 mL 蒸馏水, 混匀。以管 1 为空白对照, 540 nm 波长下测定各管吸光度, 绘制吸光度-葡萄糖浓度曲线, 计算线性回归方程。根据结果测定各样品的还原糖含量。

| 表 1 葡萄糖标准液的配制                                    |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Table 1 Preparation of glucose standard solution |     |     |     |     |     |     |
| 管号                                               | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
| 葡萄糖<br>(1 mg/mL)                                 | 0   | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 |
| 蒸馏水                                              | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0   |
| 3,5-二硝基<br>水杨酸                                   | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |

1.3.4 可滴定酸含量测定

采用酸碱滴定法测定<sup>[34]</sup>。准确称取 10 g 酸汤研成糊状, 加入蒸馏水 30 mL 导入三角瓶中, 80℃水浴 30 min, 冷却、过滤; 取滤液 10 mL, 加入 3 滴酚酞, 用 0.1 mol/L NaOH 滴定至微红, 30 s 不褪色, 重复 3 次取平均值, 即为可滴定酸含量(titratable acidity, TTA), 为以乙酸为基准计算的总酸度, 如公式(2)。

$$TAA/\%=(A\times0.1\times K\times C)\div(W\times D)\times100\%$$
 (2)

式中:  $K$ : 折算系数 0.067;  $A$ : 消耗 NaOH 的量, mL;  $C$ : 稀释总量, mL;  $W$ : 样品重量, g;  $D$ : 待测样品量, mL。

1.3.5 氨基酸含量检测

参照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》的方法对样品中 16 种常见氨基酸进行检测。取 0.5 g 样品, 加入磺基水杨酸溶液 2 mL, 混匀后静置, 以转速 10000 r/min 离心 15 min。取离心后的上清液加入浓度为 0.02 mol/L 的盐酸溶液, 稀释 50 倍, 再用 0.22 μm 的滤膜过滤。用氨基酸分析仪测定游离氨基酸的种类和含量, 色谱柱: 磺酸型阳离子树脂; 检测波长: 570 nm 和 440 nm。

1.3.6 生物胺检测

参照 GB/T 5009.208—2008《食品中生物胺含量的测定》标准的方法对样品中 8 中生物胺进行检测, 采用高效液相色谱法进行检测分析。色谱条件: 色谱柱: Agilent ZOBAX SB-Aq-C<sub>18</sub> (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: A 为纯水, B 为乙腈, 采用梯度洗脱, 洗脱程序见表 2。流速: 0.8 mL/min; 检测波长: 254 nm; 柱温: 30℃; 进样量 20 μL, 采用外标法进行定量分析。

| 表 2 梯度洗脱程序                         |         |         |
|------------------------------------|---------|---------|
| Table 2 Gradient elution procedure |         |         |
| 洗脱时间/min                           | 流动相 A/% | 流动相 B/% |
| 0.01                               | 35      | 65      |
| 1.00                               | 35      | 65      |
| 10.00                              | 20      | 80      |
| 15.00                              | 10      | 90      |
| 25.00                              | 10      | 90      |
| 30.00                              | 35      | 65      |

1.4 数据处理

实验重复 3 次测定, 采用 Origin 9.0 软件进行作图; 采用 SPSS 19.0 软件进行实验数据统计分析处理。

2 结果与分析

2.1 不同添加物含量对红酸汤 VC 的影响

VC 又叫 L-抗坏血酸, 具有抗氧化、预防癌症等功效, 是一种重要的营养成分。研究不同剂量的百香果、柠檬对酸汤中 VC 含量的影响, 每隔 10 d 对发酵酸汤中 VC 含量进行测量, 结果如表 3 所示。由结果可知, 随着发酵时间增加, 酸汤中 VC 的含量呈下降趋势。当发酵时间由 0 d 变为 40 d 时, 空白 VC 含量由 3.71 mg/100 g 下降为 1.65 mg/100 g, 两者存在明显差异( $P<0.05$ )。这可能与 VC 自身结构不稳定, 在发酵过程中易氧化分解有关<sup>[35]</sup>, VC 具有很强的还原性, 极易被氧化成可还原的脱氢 VC, 脱氢 VC 还可以继续氧化不可还原的糖酸。当酸汤中加入百香果与柠檬时, 样品中 VC 呈上升趋势, 可能与添加物自身 VC 含量有关, 百香果与柠檬自身 VC 含量较高, 能够显著增加酸汤中 VC 含量。添加百香果的样品中 VC 含量略高于柠檬与混合样品。当发酵时间到达 40 d 时, 添加量为 10% 的百香果、柠檬以及混合的样品中 VC 含量分别为 9.90、9.35、10.45 mg/100 g, 显著高于空白样品中 1.65 mg/100 g ( $P<0.05$ )。表明百香果和柠檬作为添加剂可以显著提升样品中 VC 的含量, 降低红酸汤因为发酵过程造成的 VC 损失。

2.2 不同添加物含量对酸汤中还原糖的影响

糖类是红酸汤中一种重要的营养成分, 也是微生物发酵所需的底物, 糖的含量直接影响酸汤的口感与品质。研究了不同剂量的百香果、柠檬等添加物对酸汤中还原糖的影响, 每隔 10 d 对其还原糖含量进行测量, 由表 1 结果计算标准曲线, 所得回归方程为  $Y=0.0276X+0.0091$ , 相关系数为 0.999, 具有良好的线性关系, 各组还原糖含量测定结果如表 4 所示。由表 4 可知, 随着发酵的深入酸汤样品中还原糖的含量基本上呈先上升后下降趋势, 当空白样品发酵 10 d 时, 还原糖含量为 6.82 mg/mL, 高于发酵 0 d 的样品 5.75 mg/mL。随着发酵的进行, 淀粉等大分子糖类开始降解, 导致酸汤中还原糖含量增加。当发酵时间继续延长时, 样品中的还原糖含量开始减少, 这是由于淀粉等多糖分解速率小于微生物消耗还原糖的速率所致。随着百香果与柠檬添加剂量的增加, 样品中还原糖的含量下降, 发酵时间为 40 d 时, 空白样品中还原糖的含量为 4.01 mg/mL, 显著高于添加量为 10% 的百香果、柠檬以及混合样品 2.93、2.12、2.96 mg/mL。这可能是添加剂对发酵的 pH 产生了影响, 加速了还原糖的消耗速率, 结果表明百香果、柠檬会加速酸汤中还原糖的消耗, 影响酸汤的品质。

2.3 不同添加物含量对酸汤中酸度的影响

酸汤发酵过程中会产生大量的有机酸, 有机酸产生的酸度对酸汤的品质有着十分重要的影响。研究了不同剂量的百香果、柠檬等添加物对酸汤中 pH 与可滴定酸的影

表 3 不同添加物对酸汤中 VC 含量影响  
Table 3 Effects of different additives on VC content in acid soup

| 添加种类 | 添加量/% | VC 含量/(mg/100 g)         |                          |                          |                          |                         |
|------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|      |       | 0 d                      | 10 d                     | 20 d                     | 30 d                     | 40 d                    |
| 空白   | 0     | 3.71±0.15 <sup>k</sup>   | 3.61±0.21 <sup>i</sup>   | 2.82±0.05 <sup>i</sup>   | 2.16±0.14 <sup>j</sup>   | 1.65±0.11 <sup>i</sup>  |
|      | 2     | 5.56±0.23 <sup>i</sup>   | 5.62±0.08 <sup>h</sup>   | 4.50±0.24 <sup>g</sup>   | 4.24±0.37 <sup>h</sup>   | 3.85±0.14 <sup>h</sup>  |
|      | 4     | 7.04±0.17 <sup>h</sup>   | 6.84±0.15 <sup>g</sup>   | 6.05±0.32 <sup>f</sup>   | 5.73±0.25 <sup>g</sup>   | 5.50±0.23 <sup>ef</sup> |
| 百香果  | 6     | 10.16±0.33 <sup>ef</sup> | 9.98±0.51 <sup>dc</sup>  | 8.21±0.60 <sup>d</sup>   | 7.66±0.33 <sup>e</sup>   | 7.15±0.17 <sup>d</sup>  |
|      | 8     | 13.48±0.42 <sup>b</sup>  | 12.84±0.32 <sup>c</sup>  | 10.74±0.42 <sup>bc</sup> | 9.38±0.49 <sup>d</sup>   | 8.25±0.40 <sup>c</sup>  |
|      | 10    | 14.51±0.44 <sup>a</sup>  | 14.02±0.71 <sup>b</sup>  | 12.94±0.61 <sup>a</sup>  | 10.38±0.29 <sup>bc</sup> | 9.90±0.58 <sup>ab</sup> |
| 柠檬   | 2     | 4.77±0.17 <sup>j</sup>   | 4.18±0.21 <sup>i</sup>   | 3.42±0.20 <sup>hi</sup>  | 2.62±0.11 <sup>j</sup>   | 2.35±0.22 <sup>j</sup>  |
|      | 4     | 6.75±0.42 <sup>h</sup>   | 6.56±0.38 <sup>g</sup>   | 5.85±0.16 <sup>f</sup>   | 5.24±0.30 <sup>g</sup>   | 5.00±0.38 <sup>fg</sup> |
|      | 6     | 8.92±0.21 <sup>g</sup>   | 8.86±0.43 <sup>f</sup>   | 7.42±0.53 <sup>e</sup>   | 6.51±0.41 <sup>f</sup>   | 6.05±0.25 <sup>e</sup>  |
| 混合   | 8     | 10.41±0.20 <sup>de</sup> | 10.01±0.47 <sup>dc</sup> | 8.85±0.38 <sup>d</sup>   | 8.42±0.35 <sup>e</sup>   | 8.25±0.76 <sup>c</sup>  |
|      | 10    | 12.74±0.61 <sup>c</sup>  | 12.56±0.82 <sup>c</sup>  | 11.05±1.02 <sup>b</sup>  | 10.60±0.70 <sup>ab</sup> | 9.35±0.60 <sup>b</sup>  |
|      | 2     | 5.15±0.34 <sup>ij</sup>  | 5.22±0.11 <sup>h</sup>   | 4.03±0.22 <sup>gh</sup>  | 3.42±0.23 <sup>i</sup>   | 2.75±0.31 <sup>i</sup>  |
| 混合   | 4     | 7.26±0.28 <sup>h</sup>   | 7.02±0.62 <sup>g</sup>   | 6.02±0.36 <sup>f</sup>   | 5.21±0.17 <sup>g</sup>   | 4.40±0.22 <sup>gh</sup> |
|      | 6     | 9.56±0.42 <sup>fg</sup>  | 9.22±0.86 <sup>ef</sup>  | 8.49±0.17 <sup>d</sup>   | 8.06±0.55 <sup>e</sup>   | 7.85±0.38 <sup>cd</sup> |
|      | 8     | 10.87±0.19 <sup>d</sup>  | 10.67±0.38 <sup>d</sup>  | 10.05±0.45 <sup>e</sup>  | 9.70±0.41 <sup>cd</sup>  | 9.33±0.77 <sup>b</sup>  |
|      | 10    | 15.02±0.30 <sup>a</sup>  | 14.85±0.44 <sup>a</sup>  | 13.31±0.60 <sup>a</sup>  | 11.30±1.01 <sup>a</sup>  | 10.45±0.63 <sup>a</sup> |

注：同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )，下同。

表 4 不同添加物含量对酸汤中还原糖的影响  
Table 4 Effects of different additive contents on reduced sugars in acid soup

| 添加种类 | 添加量/% | 还原糖含量/(mg/mL)          |                          |                          |                          |                         |
|------|-------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|      |       | 0 d                    | 10 d                     | 20 d                     | 30 d                     | 40 d                    |
| 空白   | 0     | 5.75±0.12 <sup>a</sup> | 6.82±0.05 <sup>ab</sup>  | 5.31±0.16 <sup>a</sup>   | 4.32±0.06 <sup>a</sup>   | 4.01±0.12 <sup>b</sup>  |
|      | 2     | 5.86±0.05 <sup>a</sup> | 6.86±0.26 <sup>a</sup>   | 5.28±0.25 <sup>a</sup>   | 4.12±0.12 <sup>abc</sup> | 4.17±0.03 <sup>a</sup>  |
|      | 4     | 5.78±0.21 <sup>a</sup> | 6.65±0.22 <sup>abc</sup> | 5.10±0.07 <sup>ab</sup>  | 4.05±0.17 <sup>bc</sup>  | 3.98±0.06 <sup>bc</sup> |
| 百香果  | 6     | 5.72±0.08 <sup>a</sup> | 6.21±0.08 <sup>efg</sup> | 5.08±0.11 <sup>ab</sup>  | 3.96±0.02 <sup>cd</sup>  | 3.65±0.11 <sup>ef</sup> |
|      | 8     | 5.80±0.11 <sup>a</sup> | 6.29±0.19 <sup>def</sup> | 4.76±0.14 <sup>cd</sup>  | 3.54±0.06 <sup>fg</sup>  | 3.29±0.15 <sup>g</sup>  |
|      | 10    | 5.66±0.17 <sup>a</sup> | 5.94±0.21 <sup>gh</sup>  | 4.57±0.03 <sup>de</sup>  | 3.25±0.20 <sup>ij</sup>  | 2.93±0.04 <sup>i</sup>  |
| 柠檬   | 2     | 5.66±0.30 <sup>a</sup> | 6.57±0.12 <sup>bcd</sup> | 5.08±0.28 <sup>ab</sup>  | 4.17±0.10 <sup>abc</sup> | 3.72±0.10 <sup>de</sup> |
|      | 4     | 5.69±0.19 <sup>a</sup> | 6.33±0.07 <sup>def</sup> | 5.14±0.15 <sup>ab</sup>  | 4.06±0.05 <sup>bc</sup>  | 3.21±0.14 <sup>g</sup>  |
|      | 6     | 5.72±0.14 <sup>a</sup> | 6.16±0.15 <sup>fg</sup>  | 4.84±0.07 <sup>bcd</sup> | 3.77±0.17 <sup>de</sup>  | 3.05±0.02 <sup>hi</sup> |
| 混合   | 8     | 5.60±0.05 <sup>a</sup> | 5.82±0.08 <sup>h</sup>   | 4.21±0.16 <sup>f</sup>   | 3.50±0.08 <sup>fgc</sup> | 2.77±0.05 <sup>j</sup>  |
|      | 10    | 5.77±0.24 <sup>a</sup> | 5.44±0.11 <sup>i</sup>   | 4.05±0.11 <sup>f</sup>   | 3.17±0.04 <sup>j</sup>   | 2.12±0.08 <sup>k</sup>  |
|      | 2     | 5.54±0.03 <sup>a</sup> | 6.49±0.21 <sup>cde</sup> | 5.22±0.09 <sup>a</sup>   | 4.25±0.13 <sup>ab</sup>  | 3.85±0.04 <sup>cd</sup> |
| 混合   | 4     | 5.62±0.15 <sup>a</sup> | 6.31±0.05 <sup>def</sup> | 5.06±0.24 <sup>abc</sup> | 4.08±0.08 <sup>bc</sup>  | 3.74±0.14 <sup>de</sup> |
|      | 6     | 5.59±0.25 <sup>a</sup> | 6.22±0.13 <sup>efg</sup> | 4.75±0.05 <sup>d</sup>   | 3.66±0.14 <sup>ef</sup>  | 3.50±0.10 <sup>f</sup>  |
|      | 8     | 5.76±0.10 <sup>a</sup> | 5.95±0.26 <sup>gh</sup>  | 4.33±0.08 <sup>ef</sup>  | 3.42±0.05 <sup>ghi</sup> | 3.17±0.03 <sup>gh</sup> |
|      | 10    | 5.64±0.29 <sup>a</sup> | 5.78±0.07 <sup>h</sup>   | 4.21±0.13 <sup>f</sup>   | 3.29±0.09 <sup>hij</sup> | 2.96±0.07 <sup>i</sup>  |

响，结果如图 1、表 5 所示。由图 1 可知，随着柠檬和百香果添加量的增加，酸汤样品中 pH 呈下降趋势。添加量为 0 时，样品中 pH 为 3.89，当添加量达到 10%时，百香果、柠檬和混合样品中 pH 分别为 3.65、3.52、3.59，柠檬对酸汤

pH 的影响略大于百香果。由表 5 可知，随着发酵的深入，酸汤中可滴定酸含量整体呈上升趋势，发酵 0 d 与发酵 10 d 的样品中可滴定酸含量整体差异较小，此时处于发酵初始阶段，酸度总体变化不大。随着发酵的深入，样品中

可滴定酸含量增加, 发酵 40 d 的空白样品中可滴定酸的含量分别为 0.42%, 高于 0 d 样品中 0.14%。百香果和柠檬能提高样品中可滴定酸含量, 且与添加量呈正相关, 发酵 40 d 时, 2%百香果与柠檬样品中可滴定酸含量分别为 0.50%、0.64%, 而 10%的样品中分别达到 0.80%和 0.90%, 二者之间存在显著差异( $P<0.05$ ), 这可能与酸汤中微生物发酵最适的 pH 有关。当添加量增加时, 酸汤体系中 pH 降低, 更适宜乳酸菌等微生物的发酵作用, 导致酸汤中可滴定酸含量增加。总体而言, 高剂量的柠檬和百香果添加能够增加酸汤中有机酸的含量, 降低酸汤的 pH。

2.4 不同添加物含量对酸汤中氨基酸的影响

氨基酸是蛋白质的主要成分, 对调节代谢有着十分重要的作用, 同时也是酸汤中重要的营养成分之一。研究了 40 d 时不同添加剂量的百香果、柠檬等添加物对酸汤中 16 种氨基酸的影响, 结果如表 6 所示。共检测了 7 种必须氨基酸和 9 种非必需氨基酸, 其中谷氨酸和天门冬氨酸含量最高, 空白酸汤样品中分别为 251.50 mg/100 g 和 136.22 mg/100 g。蛋氨酸的含量最低, 为 5.85 mg/100 g。百香果与柠檬以及混合样品对天门冬氨酸、谷氨酸以及脯氨酸存在明显的影响, 其中混合果汁影响最大。随着添加剂量的增加, 样品中 3 种氨基酸含量整体上先增加后下降, 在添加浓度

6%~8%达到峰值, 混合样品中 3 种氨基酸最大值分别为 182.99、375.22、55.21 mg/100 g, 显著高于空白样品 ( $P<0.05$ )。而添加物对其他氨基酸含量影响相对较小, 与空白样品基本上无明显的差异。结果表明百香果与柠檬作为添加物, 其混合果汁对酸汤中氨基酸提升效果最好, 在浓度 6%~8%时, 能有效提升红酸汤的氨基酸含量。

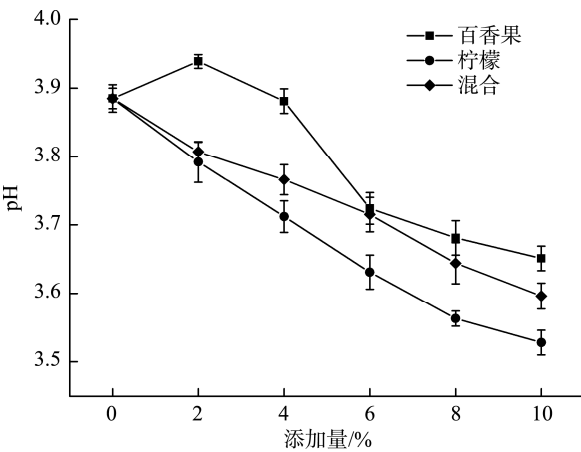


图 1 发酵 40 d 不同添加物对酸汤 pH 的影响  
Fig.1 Effects of different additives of fermentation 40 d on acid soup pH

表 5 不同添加物含量对酸汤中可滴定酸的影响  
Table 5 Effects of different additive content on titratable acids in acid soup

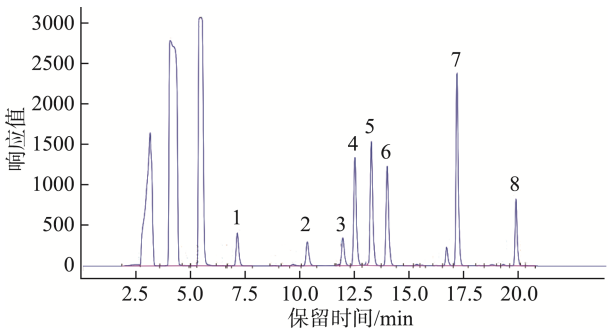
| 添加种类 | 添加量/% | 可滴定酸含量/%                |                         |                        |                        |                         |
|------|-------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
|      |       | 0 d                     | 10 d                    | 20 d                   | 30 d                   | 40 d                    |
| 空白   | 0     | 0.14±0.01 <sup>h</sup>  | 0.11±0.01 <sup>h</sup>  | 0.26±0.01 <sup>j</sup> | 0.40±0.02 <sup>h</sup> | 0.42±0.01 <sup>j</sup>  |
|      | 2     | 0.16±0.01 <sup>h</sup>  | 0.18±0.01 <sup>g</sup>  | 0.28±0.01 <sup>i</sup> | 0.36±0.01 <sup>i</sup> | 0.50±0.01 <sup>i</sup>  |
|      | 4     | 0.19±0.01 <sup>g</sup>  | 0.22±0.01 <sup>f</sup>  | 0.34±0.01 <sup>h</sup> | 0.43±0.01 <sup>g</sup> | 0.58±0.02 <sup>h</sup>  |
|      | 6     | 0.24±0.01 <sup>ef</sup> | 0.28±0.01 <sup>e</sup>  | 0.37±0.01 <sup>g</sup> | 0.52±0.01 <sup>f</sup> | 0.72±0.03 <sup>ef</sup> |
| 百香果  | 8     | 0.33±0.01 <sup>bc</sup> | 0.35±0.01 <sup>d</sup>  | 0.42±0.01 <sup>f</sup> | 0.58±0.02 <sup>e</sup> | 0.74±0.02 <sup>e</sup>  |
|      | 10    | 0.35±0.02 <sup>b</sup>  | 0.39±0.01 <sup>c</sup>  | 0.50±0.02 <sup>d</sup> | 0.67±0.03 <sup>c</sup> | 0.80±0.02 <sup>cd</sup> |
| 柠檬   | 2     | 0.22±0.01 <sup>f</sup>  | 0.24±0.01 <sup>f</sup>  | 0.33±0.01 <sup>h</sup> | 0.44±0.01 <sup>g</sup> | 0.64±0.01 <sup>g</sup>  |
|      | 4     | 0.27±0.02 <sup>d</sup>  | 0.30±0.01 <sup>c</sup>  | 0.38±0.01 <sup>g</sup> | 0.56±0.01 <sup>e</sup> | 0.72±0.01 <sup>ef</sup> |
|      | 6     | 0.31±0.01 <sup>c</sup>  | 0.38±0.01 <sup>c</sup>  | 0.45±0.01 <sup>e</sup> | 0.58±0.02 <sup>e</sup> | 0.78±0.02 <sup>d</sup>  |
|      | 8     | 0.33±0.01 <sup>bc</sup> | 0.39±0.02 <sup>c</sup>  | 0.49±0.01 <sup>d</sup> | 0.64±0.02 <sup>d</sup> | 0.86±0.02 <sup>b</sup>  |
| 混合   | 10    | 0.35±0.02 <sup>b</sup>  | 0.45±0.01 <sup>a</sup>  | 0.59±0.02 <sup>a</sup> | 0.77±0.02 <sup>a</sup> | 0.90±0.03 <sup>a</sup>  |
|      | 2     | 0.22±0.01 <sup>f</sup>  | 0.24±0.01 <sup>f</sup>  | 0.22±0.01 <sup>k</sup> | 0.50±0.01 <sup>f</sup> | 0.70±0.01 <sup>f</sup>  |
|      | 4     | 0.25±0.01 <sup>dc</sup> | 0.30±0.01 <sup>c</sup>  | 0.35±0.01 <sup>h</sup> | 0.51±0.02 <sup>f</sup> | 0.74±0.01 <sup>e</sup>  |
|      | 6     | 0.33±0.02 <sup>bc</sup> | 0.37±0.01 <sup>cd</sup> | 0.46±0.01 <sup>e</sup> | 0.67±0.01 <sup>c</sup> | 0.78±0.01 <sup>d</sup>  |
|      | 8     | 0.40±0.01 <sup>a</sup>  | 0.42±0.02 <sup>b</sup>  | 0.53±0.01 <sup>c</sup> | 0.64±0.01 <sup>d</sup> | 0.82±0.02 <sup>c</sup>  |
|      | 10    | 0.41±0.02 <sup>a</sup>  | 0.44±0.01 <sup>ab</sup> | 0.55±0.01 <sup>b</sup> | 0.72±0.01 <sup>b</sup> | 0.86±0.02 <sup>b</sup>  |

表 6 不同添加物含量对酸汤中 16 种氨基酸的影响  
Table 6 Effects of different additive content on the 16 kinds of amino acids in the acid soup

| 添加种类 | 添加量/% | 氨基酸含量/(mg/100 g)         |                          |                          |                          |                           |                         |                           |                          |                           |                          |                          |                           |                           |                          | 组氨酸                      | 赖氨酸                      | 精氨酸                      |
|------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|      |       | 异亮氨酸                     | 亮氨酸                      | 酪氨酸                      | 丙氨酸                      | 缬氨酸                       | 蛋氨酸                     | 天门冬氨酸                     | 苏氨酸                      | 丝氨酸                       | 谷氨酸                      | 脯氨酸                      | 甘氨酸                       | 苯丙氨酸                      | 缬氨酸                      |                          |                          |                          |
| 空白   | 0     | 28.20±0.02 <sup>a</sup>  | 43.05±0.77 <sup>de</sup> | 21.55±0.20 <sup>g</sup>  | 37.62±1.06 <sup>bc</sup> | 33.34±0.71 <sup>def</sup> | 5.85±0.07 <sup>i</sup>  | 136.22±1.99 <sup>f</sup>  | 35.56±0.81 <sup>a</sup>  | 33.74±0.41 <sup>f</sup>   | 251.50±2.98 <sup>i</sup> | 32.41±0.42 <sup>b</sup>  | 33.92±0.49 <sup>cd</sup>  | 31.60±0.27 <sup>g</sup>   | 19.44±0.40 <sup>g</sup>  | 41.05±0.31 <sup>g</sup>  | 41.05±0.31 <sup>g</sup>  | 25.85±0.06 <sup>j</sup>  |
|      | 2     | 28.96±0.08 <sup>de</sup> | 43.83±0.96 <sup>cd</sup> | 26.42±0.38 <sup>a</sup>  | 35.32±0.82 <sup>d</sup>  | 32.16±1.05 <sup>g</sup>   | 6.20±0.03 <sup>f</sup>  | 127.01±2.68 <sup>g</sup>  | 32.05±1.06 <sup>de</sup> | 36.62±0.05 <sup>e</sup>   | 250.52±1.66 <sup>i</sup> | 31.27±0.87 <sup>k</sup>  | 35.21±1.05 <sup>bc</sup>  | 33.05±0.22 <sup>f</sup>   | 20.82±0.12 <sup>f</sup>  | 46.11±0.40 <sup>e</sup>  | 46.11±0.40 <sup>e</sup>  | 34.33±0.74 <sup>k</sup>  |
| 百香果  | 4     | 26.52±0.56 <sup>f</sup>  | 41.01±2.06 <sup>e</sup>  | 22.20±0.99 <sup>fg</sup> | 31.95±0.66 <sup>e</sup>  | 30.85±0.27 <sup>gh</sup>  | 5.33±0.03 <sup>k</sup>  | 151.30±1.07 <sup>e</sup>  | 29.34±0.36 <sup>g</sup>  | 33.85±0.07 <sup>f</sup>   | 290.83±3.72 <sup>b</sup> | 40.35±1.30 <sup>i</sup>  | 30.66±1.31 <sup>g</sup>   | 33.56±0.35 <sup>f</sup>   | 19.37±0.06 <sup>g</sup>  | 43.09±0.72 <sup>f</sup>  | 43.09±0.72 <sup>f</sup>  | 36.20±1.25 <sup>j</sup>  |
|      | 6     | 28.90±0.42 <sup>de</sup> | 45.02±1.77 <sup>cd</sup> | 24.66±0.04 <sup>b</sup>  | 36.40±0.43 <sup>cd</sup> | 32.30±0.43 <sup>f</sup>   | 6.16±0.05 <sup>fg</sup> | 165.04±2.96 <sup>cd</sup> | 35.38±0.44 <sup>a</sup>  | 40.76±0.82 <sup>b</sup>   | 309.55±1.33 <sup>f</sup> | 47.73±0.97 <sup>e</sup>  | 33.70±2.44 <sup>d</sup>   | 35.62±0.08 <sup>de</sup>  | 21.87±0.21 <sup>de</sup> | 51.22±1.44 <sup>b</sup>  | 51.22±1.44 <sup>b</sup>  | 38.44±0.90 <sup>hi</sup> |
|      | 8     | 28.20±0.86 <sup>e</sup>  | 44.90±1.35 <sup>cd</sup> | 22.83±0.17 <sup>de</sup> | 34.99±0.70 <sup>d</sup>  | 33.01±0.77 <sup>ef</sup>  | 6.45±0.04 <sup>e</sup>  | 168.75±2.00 <sup>e</sup>  | 32.18±0.76 <sup>de</sup> | 38.30±1.51 <sup>d</sup>   | 321.10±2.54 <sup>d</sup> | 49.19±0.26 <sup>d</sup>  | 31.74±0.08 <sup>fg</sup>  | 36.44±0.69 <sup>bcd</sup> | 21.15±0.66 <sup>ef</sup> | 47.94±1.06 <sup>d</sup>  | 47.94±1.06 <sup>d</sup>  | 43.70±0.62 <sup>f</sup>  |
|      | 10    | 32.05±0.28 <sup>a</sup>  | 50.64±3.06 <sup>a</sup>  | 26.80±0.55 <sup>a</sup>  | 39.54±1.58 <sup>a</sup>  | 36.64±0.28 <sup>a</sup>   | 7.90±0.12 <sup>e</sup>  | 162.03±1.33 <sup>d</sup>  | 35.46±1.04 <sup>a</sup>  | 42.77±0.44 <sup>a</sup>   | 308.08±4.08 <sup>f</sup> | 44.64±0.33 <sup>b</sup>  | 36.77±0.33 <sup>ab</sup>  | 40.10±1.07 <sup>a</sup>   | 23.06±0.29 <sup>a</sup>  | 53.88±0.08 <sup>a</sup>  | 53.88±0.08 <sup>a</sup>  | 47.05±0.33 <sup>cd</sup> |
| 柠檬   | 2     | 29.25±0.07 <sup>cd</sup> | 48.15±0.68 <sup>ab</sup> | 23.91±0.26 <sup>bc</sup> | 38.60±1.06 <sup>ab</sup> | 33.30±1.31 <sup>def</sup> | 4.44±0.02 <sup>m</sup>  | 166.11±3.05 <sup>cd</sup> | 30.33±0.74 <sup>fg</sup> | 38.91±0.96 <sup>cd</sup>  | 315.01±3.74 <sup>e</sup> | 32.50±0.52 <sup>k</sup>  | 36.20±0.56 <sup>b</sup>   | 36.82±1.36 <sup>bc</sup>  | 21.22±0.07 <sup>ef</sup> | 51.25±2.03 <sup>b</sup>  | 51.25±2.03 <sup>b</sup>  | 48.77±1.40 <sup>ab</sup> |
|      | 4     | 15.51±0.36 <sup>g</sup>  | 22.44±0.90 <sup>g</sup>  | 21.38±1.01 <sup>g</sup>  | 16.85±0.99 <sup>g</sup>  | 36.25±0.05 <sup>a</sup>   | 6.48±0.05 <sup>e</sup>  | 154.22±0.98 <sup>e</sup>  | 18.75±0.62 <sup>h</sup>  | 19.36±0.021 <sup>h</sup>  | 324.55±0.81 <sup>d</sup> | 42.44±0.03 <sup>i</sup>  | 19.33±0.12 <sup>h</sup>   | 15.55±0.14 <sup>i</sup>   | 11.60±0.08 <sup>i</sup>  | 34.50±0.77 <sup>h</sup>  | 34.50±0.77 <sup>h</sup>  | 41.06±1.03 <sup>g</sup>  |
|      | 6     | 30.55±1.02 <sup>b</sup>  | 48.92±0.76 <sup>ab</sup> | 26.22±0.83 <sup>a</sup>  | 36.52±0.83 <sup>cd</sup> | 35.32±0.94 <sup>ab</sup>  | 9.82±0.10 <sup>b</sup>  | 179.41±1.11 <sup>ab</sup> | 34.70±0.88 <sup>ab</sup> | 40.55±0.35 <sup>b</sup>   | 331.82±1.87 <sup>e</sup> | 46.33±0.14 <sup>fg</sup> | 34.90±0.79 <sup>bc</sup>  | 39.30±0.76 <sup>a</sup>   | 22.64±0.99 <sup>ab</sup> | 52.91±0.31 <sup>a</sup>  | 52.91±0.31 <sup>a</sup>  | 49.52±0.75 <sup>a</sup>  |
|      | 8     | 30.91±0.55 <sup>b</sup>  | 45.41±1.00 <sup>cd</sup> | 27.06±0.32 <sup>a</sup>  | 39.01±0.76 <sup>ab</sup> | 35.11±1.00 <sup>abc</sup> | 6.02±0.02 <sup>h</sup>  | 153.82±0.96 <sup>e</sup>  | 33.74±0.46 <sup>bc</sup> | 38.90±1.06 <sup>cd</sup>  | 253.08±3.06 <sup>i</sup> | 47.47±1.52 <sup>ef</sup> | 38.44±0.60 <sup>a</sup>   | 30.54±0.78 <sup>b</sup>   | 22.00±0.52 <sup>cd</sup> | 50.44±0.22 <sup>bc</sup> | 50.44±0.22 <sup>bc</sup> | 36.93±0.33 <sup>j</sup>  |
| 混合   | 10    | 25.98±0.38 <sup>f</sup>  | 40.70±1.77 <sup>e</sup>  | 21.65±0.10 <sup>g</sup>  | 32.85±0.55 <sup>e</sup>  | 30.14±0.73 <sup>b</sup>   | 6.66±0.03 <sup>d</sup>  | 162.91±4.56 <sup>d</sup>  | 29.72±0.05 <sup>g</sup>  | 35.92±1.47 <sup>e</sup>   | 299.35±2.21 <sup>g</sup> | 48.78±0.93 <sup>de</sup> | 30.62±0.38 <sup>e</sup>   | 33.32±0.66 <sup>f</sup>   | 19.48±0.70 <sup>g</sup>  | 43.83±0.76 <sup>f</sup>  | 43.83±0.76 <sup>f</sup>  | 39.22±0.20 <sup>b</sup>  |
|      | 2     | 31.20±0.27 <sup>b</sup>  | 48.92±1.03 <sup>ab</sup> | 26.94±0.42 <sup>a</sup>  | 38.16±0.08 <sup>ab</sup> | 35.92±0.69 <sup>ab</sup>  | 5.77±0.10 <sup>j</sup>  | 164.30±3.02 <sup>cd</sup> | 35.05±1.07 <sup>a</sup>  | 40.11±0.28 <sup>bc</sup>  | 321.20±1.77 <sup>d</sup> | 45.74±0.28 <sup>ab</sup> | 35.80±1.55 <sup>b</sup>   | 39.30±0.12 <sup>a</sup>   | 22.22±0.17 <sup>bc</sup> | 50.01±0.91 <sup>bc</sup> | 50.01±0.91 <sup>bc</sup> | 42.44±1.36 <sup>g</sup>  |
|      | 4     | 29.33±0.44 <sup>e</sup>  | 45.77±0.72 <sup>c</sup>  | 23.44±0.66 <sup>cd</sup> | 35.74±0.76 <sup>d</sup>  | 34.63±1.71 <sup>cd</sup>  | 6.05±0.06 <sup>gh</sup> | 180.52±5.04 <sup>ab</sup> | 33.64±0.46 <sup>bc</sup> | 39.20±0.74 <sup>cd</sup>  | 338.88±2.30 <sup>b</sup> | 53.52±0.36 <sup>b</sup>  | 32.91±1.36 <sup>ef</sup>  | 37.34±0.11 <sup>b</sup>   | 22.03±0.66 <sup>bc</sup> | 49.92±0.58 <sup>bc</sup> | 49.92±0.58 <sup>bc</sup> | 46.15±1.21 <sup>de</sup> |
|      | 6     | 28.42±0.05 <sup>de</sup> | 44.40±0.66 <sup>cd</sup> | 22.62±0.39 <sup>de</sup> | 35.32±0.32 <sup>d</sup>  | 33.94±1.05 <sup>ode</sup> | 5.71±0.05 <sup>j</sup>  | 182.99±0.96 <sup>a</sup>  | 33.02±0.72 <sup>cd</sup> | 38.60±0.43 <sup>d</sup>   | 333.62±1.42 <sup>e</sup> | 55.21±0.75 <sup>a</sup>  | 32.33±0.49 <sup>g</sup>   | 36.15±0.36 <sup>cd</sup>  | 21.77±0.15 <sup>de</sup> | 49.35±0.73 <sup>cd</sup> | 49.35±0.73 <sup>cd</sup> | 45.50±0.54 <sup>e</sup>  |
|      | 8     | 26.01±0.66 <sup>f</sup>  | 38.02±0.12 <sup>f</sup>  | 23.34±0.82 <sup>cd</sup> | 28.80±0.43 <sup>f</sup>  | 27.75±0.36 <sup>i</sup>   | 10.19±0.11 <sup>a</sup> | 176.98±0.44 <sup>b</sup>  | 31.38±0.34 <sup>ef</sup> | 29.85±0.09 <sup>g</sup>   | 375.22±2.11 <sup>a</sup> | 51.23±0.49 <sup>e</sup>  | 33.15±0.73 <sup>def</sup> | 22.62±0.56 <sup>f</sup>   | 14.64±0.06 <sup>b</sup>  | 43.96±1.33 <sup>f</sup>  | 43.96±1.33 <sup>f</sup>  | 47.80±0.08 <sup>bc</sup> |
|      | 10    | 28.11±0.07 <sup>e</sup>  | 44.91±1.08 <sup>cd</sup> | 24.71±0.77 <sup>b</sup>  | 36.33±1.02 <sup>cd</sup> | 32.00±0.07 <sup>g</sup>   | 5.06±0.07 <sup>j</sup>  | 151.05±2.05 <sup>e</sup>  | 32.50±0.15 <sup>cd</sup> | 39.54±0.51 <sup>bed</sup> | 293.46±1.94 <sup>b</sup> | 45.82±1.07 <sup>ab</sup> | 33.34±1.02 <sup>de</sup>  | 35.02±0.70 <sup>e</sup>   | 21.30±0.41 <sup>ef</sup> | 48.21±1.09 <sup>d</sup>  | 48.21±1.09 <sup>d</sup>  | 37.22±0.69 <sup>ij</sup> |

2.5 不同添加物含量对酸汤中生物胺的影响

传统发酵食品中普遍存在生物胺, 生物胺过量会引起诸如头痛、恶心、心悸、血压变化, 严重危害人体健康, 因此国家对食品中生物胺含量有着严格的规定。研究了发酵 40 d 时不同剂量的百香果、柠檬等添加物对酸汤样品中 8 种生物胺含量的影响, 结果如图 2、表 7、表 8 所示。由图 2 可知, 8 种生物胺标准品出峰时间为 7.5~20.0 min, 具有良好的峰型, 各组分之间能完全分离开来。由表 6 可知, 8 种生物胺标准品在 3~72 mg/L 范围内具有良好的线性关系, 相关系数均大于 0.998, 计算结果可信度较高。由表 7 可知, 本研究所用的 HPLC 方法将溶剂峰及杂质峰在前 5 min 内全部洗脱出, 与孙霞等<sup>[36]</sup>研究一致。酸汤样品中共检测出 6 种生物胺成分, 分别为色胺、 $\beta$ -苯乙胺、尸胺、酪胺、亚精胺、精胺, 而腐胺与组胺两种成分未检出。其中色胺与  $\beta$ -苯乙胺含量最高, 空白样品中分别为 60.79 mg/kg、55.66 mg/kg, 精胺含量最低为 7.86 mg/kg。百香果与柠檬能够明显降低样品中  $\beta$ -苯乙胺与尸胺的含量, 当添加量为 6% 时, 百香果、柠檬以及混合样品中  $\beta$ -苯乙胺含量分别为 14.96、17.70、18.48 mg/kg, 显著低于空白样品 55.66 mg/kg ( $P<0.05$ ); 当添加量为 4%~6% 时, 百香果、柠檬以及混合样品中尸胺含量均未检出, 与空白样品中尸胺含量 28.24 mg/kg 相比显著下降。酸汤各样品中生物胺总量均低于生物胺标准限量, 在安全范围内。百香果与柠檬的样品中生物胺总含量均小于空白样品, 表明百香果与柠檬能够有效降低酸汤中生物胺含量, 提升酸汤的安全性。



注: 1-色胺; 2- $\beta$ -苯乙胺; 3-腐胺; 4-尸胺; 5-组胺; 6-酪胺; 7-亚精胺; 8-精胺。

图 2 72 mg/L 生物胺混合标准 HPLC 色谱图

Fig.2 Standard HPLC chromatogram of 72 mg/L biogenic amine mix

表 7 生物胺标准曲线、线性范围、回归方程与相关系数  
Table 7 Biogenic amine standard curves, linear range, regression equations, and correlation coefficients

| 生物胺种类        | 线性范围/(mg/L) | 回归方程               | 相关系数( $r^2$ ) |
|--------------|-------------|--------------------|---------------|
| 色胺           | 3~72        | $Y=47.818X-46.971$ | 0.9982        |
| $\beta$ -苯乙胺 | 3~72        | $Y=37.129X+2.0696$ | 0.9996        |
| 腐胺           | 3~72        | $Y=43.242X+28.63$  | 0.9982        |
| 尸胺           | 3~72        | $Y=154.01X+64.576$ | 0.9982        |
| 组胺           | 3~72        | $Y=174.48X+81.054$ | 0.9983        |
| 酪胺           | 3~72        | $Y=145.38X+91.495$ | 0.9985        |
| 亚精胺          | 3~72        | $Y=225.37X+141.53$ | 0.9988        |
| 精胺           | 3~72        | $Y=77.859X+5.9449$ | 0.9997        |

表 8 酸汤中生物胺检测结果  
Table 8 Test results of the biogenic amines in the acid soup

| 添加种类 | 添加量/% | 生物胺含量/(mg/kg)                   |                               |    |                               |    |                               |                                |                               | 总量                             |
|------|-------|---------------------------------|-------------------------------|----|-------------------------------|----|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |       | 色胺                              | $\beta$ -苯乙胺                  | 腐胺 | 尸胺                            | 组胺 | 酪胺                            | 亚精胺                            | 精胺                            |                                |
| 空白   | 0     | 60.79 $\pm$ 1.32 <sup>c</sup>   | 55.66 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup> | ND | 28.24 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup> | ND | 19.70 $\pm$ 0.22 <sup>f</sup> | 21.45 $\pm$ 0.35 <sup>k</sup>  | 7.86 $\pm$ 0.11 <sup>e</sup>  | 193.70 $\pm$ 0.83 <sup>a</sup> |
|      | 2     | 63.06 $\pm$ 0.83 <sup>d</sup>   | 32.63 $\pm$ 0.28 <sup>c</sup> | ND | ND                            | ND | ND                            | 27.70 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>  | ND                            | 123.33 $\pm$ 0.98 <sup>j</sup> |
|      | 4     | 58.65 $\pm$ 0.44 <sup>ghi</sup> | 16.30 $\pm$ 0.66 <sup>j</sup> | ND | ND                            | ND | ND                            | 28.92 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>  | ND                            | 103.87 $\pm$ 0.55 <sup>l</sup> |
|      | 6     | 59.77 $\pm$ 0.61 <sup>efg</sup> | 14.96 $\pm$ 0.15 <sup>k</sup> | ND | 11.83 $\pm$ 0.17 <sup>h</sup> | ND | 23.34 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup> | 27.55 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>  | 12.78 $\pm$ 0.22 <sup>c</sup> | 150.23 $\pm$ 0.12 <sup>g</sup> |
|      | 8     | 59.87 $\pm$ 1.92 <sup>efg</sup> | 29.70 $\pm$ 0.08 <sup>f</sup> | ND | 14.48 $\pm$ 0.1 <sup>f</sup>  | ND | 25.01 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup> | 26.94 $\pm$ 0.21 <sup>cd</sup> | 12.80 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup> | 168.80 $\pm$ 1.05 <sup>c</sup> |
| 百香果  | 10    | 68.79 $\pm$ 1.68 <sup>c</sup>   | 28.32 $\pm$ 0.44 <sup>g</sup> | ND | 12.28 $\pm$ 0.22 <sup>g</sup> | ND | ND                            | 24.18 $\pm$ 0.17 <sup>h</sup>  | 18.71 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup> | 152.28 $\pm$ 1.33 <sup>f</sup> |
|      | 2     | 72.77 $\pm$ 0.48 <sup>b</sup>   | 33.21 $\pm$ 0.94 <sup>e</sup> | ND | 17.40 $\pm$ 0.48 <sup>d</sup> | ND | 9.04 $\pm$ 0.24 <sup>h</sup>  | 22.79 $\pm$ 0.10 <sup>i</sup>  | 16.97 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup> | 172.18 $\pm$ 0.74 <sup>b</sup> |
|      | 4     | 57.65 $\pm$ 0.75 <sup>ij</sup>  | 33.03 $\pm$ 0.30 <sup>e</sup> | ND | 20.09 $\pm$ 0.25 <sup>b</sup> | ND | 21.17 $\pm$ 0.11              | 20.83 $\pm$ 0.05 <sup>l</sup>  | 5.32 $\pm$ 0.01 <sup>h</sup>  | 158.09 $\pm$ 0.96 <sup>c</sup> |
|      | 6     | 79.39 $\pm$ 1.22 <sup>a</sup>   | 17.70 $\pm$ 0.07 <sup>i</sup> | ND | ND                            | ND | ND                            | 27.19 $\pm$ 0.20 <sup>c</sup>  | 4.59 $\pm$ 0.01 <sup>j</sup>  | 128.87 $\pm$ 1.77 <sup>i</sup> |
|      | 8     | 60.38 $\pm$ 2.08 <sup>ef</sup>  | 23.21 $\pm$ 0.42 <sup>h</sup> | ND | 10.57 $\pm$ 0.20 <sup>i</sup> | ND | ND                            | 26.83 $\pm$ 0.34 <sup>d</sup>  | 3.34 $\pm$ 0.03 <sup>k</sup>  | 124.33 $\pm$ 1.03 <sup>j</sup> |
| 柠檬   | 10    | 57.02 $\pm$ 0.45 <sup>ij</sup>  | 28.50 $\pm$ 1.05 <sup>g</sup> | ND | 14.65 $\pm$ 0.08 <sup>f</sup> | ND | 22.10 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup> | 24.93 $\pm$ 0.09 <sup>f</sup>  | 3.26 $\pm$ 0.02 <sup>k</sup>  | 150.46 $\pm$ 2.16 <sup>g</sup> |
|      | 2     | 57.97 $\pm$ 0.79 <sup>ghi</sup> | 39.38 $\pm$ 0.66 <sup>b</sup> | ND | 14.51 $\pm$ 0.19 <sup>f</sup> | ND | 20.86 $\pm$ 0.30 <sup>d</sup> | 24.54 $\pm$ 0.24 <sup>g</sup>  | 7.27 $\pm$ 0.07 <sup>g</sup>  | 164.53 $\pm$ 0.77 <sup>d</sup> |
|      | 4     | 60.03 $\pm$ 1.25 <sup>ef</sup>  | 27.80 $\pm$ 0.10 <sup>g</sup> | ND | ND                            | ND | ND                            | 26.18 $\pm$ 0.17 <sup>e</sup>  | 4.93 $\pm$ 0.12 <sup>i</sup>  | 118.94 $\pm$ 0.46 <sup>k</sup> |
|      | 6     | 57.86 $\pm$ 0.75 <sup>hi</sup>  | 18.48 $\pm$ 0.33 <sup>i</sup> | ND | 10.36 $\pm$ 0.27 <sup>i</sup> | ND | 20.17 $\pm$ 0.03 <sup>e</sup> | 17.60 $\pm$ 0.11 <sup>m</sup>  | 7.49 $\pm$ 0.10 <sup>f</sup>  | 131.96 $\pm$ 0.05 <sup>h</sup> |
|      | 8     | 55.77 $\pm$ 0.53 <sup>j</sup>   | 37.44 $\pm$ 0.56 <sup>c</sup> | ND | 16.60 $\pm$ 0.33 <sup>e</sup> | ND | 16.96 $\pm$ 0.17 <sup>g</sup> | 22.37 $\pm$ 0.08 <sup>j</sup>  | 3.28 $\pm$ 0.13 <sup>k</sup>  | 152.42 $\pm$ 0.17 <sup>f</sup> |
| 混合   | 10    | 60.93 $\pm$ 1.02 <sup>c</sup>   | 36.45 $\pm$ 0.17 <sup>d</sup> | ND | 18.95 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup> | ND | 19.98 $\pm$ 0.21 <sup>c</sup> | 22.36 $\pm$ 0.15 <sup>j</sup>  | 8.50 $\pm$ 0.05 <sup>d</sup>  | 167.17 $\pm$ 1.10 <sup>c</sup> |

注: 表中 ND 表示未检测出。

### 3 结 论

本研究探究了百香果和柠檬作为添加物对贵州红酸汤发酵品质的影响,对发酵过程中酸汤样品中 VC、还原糖、可滴定酸、氨基酸以及生物胺等指标进行了测定。结果表明百香果和柠檬能有效提升酸汤中 VC、可滴定酸含量,降低酸汤样品的 pH、还原糖含量以及生物胺总含量,而对氨基酸整体影响不明显。可能是由于百香果和柠檬中含有丰富的 VC、有机酸,导致样品 pH 下降,过低的 pH 影响了还原糖以及生物胺的代谢,导致其含量降低。百香果对酸汤中 VC 及 pH 的影响大于柠檬,柠檬对酸汤的可滴定酸的含量影响大于百香果。当百香果与柠檬添加量为 6%~8% 时,酸汤中天门冬氨酸、谷氨酸以及脯氨酸的含量上升,当添加量为 4%~6% 时,酸汤中  $\beta$ -苯乙胺与尸胺含量下降,这与百香果与柠檬自身的物质有关,二者对氨基酸和生物胺的代谢具体影响机制,有待进一步研究。总体而言,百香果和柠檬对红酸汤发酵的存在一定的积极差异,二者都能够有效地改善酸汤品质,丰富红酸汤的口感层次,降低有害的生物胺含量,这与常云鹤等<sup>[7]</sup>研究结果一致天然的添加物能够改善红酸汤品质与口感,在实际生产中可以根据需求选择合适的添加剂量,以此针对性的提升红酸汤的品质。

### 参考文献

- [1] 袁野, 李云成, 孟凡冰, 等. 贵州红酸汤研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(6): 19–23.  
YUAN Y, LI YC, MENG FB, *et al.* Research progress in Guizhou red acid soup [J]. Grain Greats, 2022, 35(6): 19–23.
- [2] 宫路路, 李晓然, 陈芳勇, 等. 凯里红酸汤细菌群落多样性分析及其优势乳酸菌筛选[J]. 中国调味品, 2022, 47(10): 67–72.  
GONG LL, LI XR, CHEN FY, *et al.* Analysis of bacterial community diversity in Carey red acid soup and its screening of dominant lactic acid bacteria [J]. Chin Cond, 2022, 47(10): 67–72.
- [3] 赵承鑫, 李艾蒙, 杨小云, 等. 凯里白酸汤乳酸菌的分离鉴定及菌种性能测定[J]. 中国调味品, 2022, 47(12): 32–36.  
ZHAO CX, LI AIM, YANG XY, *et al.* Isolation and identification of lactic acid bacteria of kai and strain performance [J]. Chin Cond, 2022, 47(12): 32–36.
- [4] 肖甜甜, 干昭波, 吴君海, 等. 贵州米酸汤中呈味物质对滋味的的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 303–313.  
XIAO TT, GAN ZB, WU JH, *et al.* The influence of the flavor substances on the taste in Guizhou rice acid soup [J]. Chin Food J, 2022, 22(10): 303–313.
- [5] 龙四红, 陈谢花, 李红洲, 等. 离子色谱法测定酸汤中 13 种有机酸的分析方法[J]. 食品科技, 2022, 47(8): 256–263.  
LONG SH, CHEN XH, LI HZ, *et al.* Analytical method for the determination of 13 organic acids in acid soup by ion chromatography [J]. Food Sci Technol, 2022, 47(8): 256–263.
- [6] 鲁杨, 王楠兰, 李贤, 等. 凯里红酸汤主要营养和功能成分的分析研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(7): 163–166.  
LU Y, WANG NL, LI X, *et al.* Analysis of the main nutritional and functional components of Carey red acid soup [J]. Food Res Dev, 2019, 40(7): 163–166.
- [7] 常云鹤, 章乾, 宋明发, 等. 枸杞对红酸汤品质及风味的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 167–171.  
CHANG YH, ZHANG Q, SONG MF, *et al.* Barbary wolfberry Impact on the quality and flavor of red acid soup [J]. Chin Cond, 2022, 47(1): 167–171.
- [8] 潘季红, 秦礼康, 文安燕, 等. 贵州红酸汤营养品质及呈味特征分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(6): 43–48.  
PAN JH, QIN LK, WEN ANY, *et al.* Analysis of the nutritional quality and flavor characteristics of Guizhou red acid soup [J]. Chin Cond, 2020, 45(6): 43–48.
- [9] 陈文莹, 陈江碧, 周吉, 等. 四种调味蔬菜对红酸汤烹调中全反式番茄红素含量的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(1): 67–71.  
CHEN WY, CHEN JB, ZHOU J, *et al.* Effect of four flavoured vegetables on all-trans lycopene content in red acid soup cooking [J]. Chin Cond, 2020, 45(1): 67–71.
- [10] 郑莎莎, 胡萍. 利用乳酸菌发酵红酸汤的品质变化研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 65–70.  
ZHENG SS, HU P. Study on the quality change of red acid soup fermented by using lactic acid bacteria [J]. Chin Cond, 2019, 44(8): 65–70.
- [11] 袁玮, 彭舒, 陈冬华, 等. 凯里红酸汤发酵过程中营养成分的检测与分析[J]. 凯里学院学报, 2022, 40(6): 37–42.  
YUAN W, PENG S, CHEN DH, *et al.* Detection and analysis of nutrients during the fermentation of Kaili red acid soup [J]. J Carey Coll, 2022, 40(6): 37–42.
- [12] 邹大维. 凯里红酸汤营养成分分析与研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(5): 129–132.  
ZOU DW. Analysis and study of nutritional composition in Kaili red acid soup [J]. Chin Cond, 2015, 40(5): 129–132.
- [13] 鲁青松, 徐俐, 牟琴, 等. 凯里红酸汤有机酸的提取及抗氧化活性[J]. 食品工业, 2019, 40(2): 89–94.  
LU QS, XU LI, MOU Q, *et al.* Extraction and antioxidant activity of organic acids in Kaili red acid soup [J]. Food Ind, 2019, 40(2): 89–94.
- [14] 李洁, 宫路路, 陈芳勇, 等. 凯里酸汤研究现状分析[J]. 产业与科技论坛, 2020, 19(1): 55–57.  
LI J, GONG LL, CHEN FY, *et al.* Analysis of the research status of Carey acid soup [J]. Ind Technol Forum, 2020, 19(1): 55–57.
- [15] TIINAR R, SARIV V, KRISTHANN S, *et al.* Lycopene, athero-sclerosis, and coronary heart disease [J]. Exp Biol Med, 2002, 227(10): 900–907.
- [16] ERIN N, ZHAO W, BYLANDER J, *et al.* Capsaicin induced in activation of sensory neurons promotes a more aggressive gene expression phenotype in breast cancer cells [J]. Breast Cancer Res Treat, 2006, 99(3): 351–364.
- [17] 湛小立, 袁茂翼, 陈文莹, 等. 4 种贵州红酸汤中辣椒碱的提取及含量测定研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(7): 133–136.  
SHEN XL, YUAN MY, CHEN WY, *et al.* Extraction and determination of capsaicin in four Guizhou red acid soup [J]. Chin Cond, 2017, 42(7): 133–136.
- [18] 毛林静, 孟武, 王莹, 等. 高效液相色谱法检测枯草芽孢杆菌发酵液中乙偶姻和 2,3-丁二醇含量[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 253–257.  
MAO LJ, MENG W, WANG Y, *et al.* Detection of ethA and 2,3-butanediol in the fermentation broth of Bacillus subtilis by HPLC [J]. Food Ind Sci Technol, 2020, 41(17): 253–257.

- [19] 王永丽, 李锋, 陈肖, 等. 传统发酵肉制品中生物胺形成机理及检测控制技术[J]. 肉类研究, 2013, 27(6): 39–43.  
WANG YL, LI F, CHEN X, *et al.* Formation mechanism and detection and control technology of biological amines in traditional fermented meat products [J]. Meat Res, 2013, 27(6): 39–43.
- [20] 吴斌, 黄东梅, 邢文婷, 等. 不同黄金百香果品种果肉挥发性成分分析[J]. 中国果树, 2023, (9): 57–64.  
WU B, HUANG DM, XING WT, *et al.* Analysis of pulp volatile composition of different golden passion fruit varieties [J]. Fruit Trees China, 2023, (9): 57–64.
- [21] 袁启凤, 颜培玲, 史斌斌, 等. 基于广泛靶向代谢组学的2种百香果风味差异研究[J]. 中国果树, 2023, (9): 65–71.  
YUAN QF, YAN PL, SHI BB, *et al.* Flavor difference study of 2 passion fruits based on extensively targeted metabolomics [J]. Fruit Trees China, 2023, (9): 65–71.
- [22] 陈婉明, 黄丽玉, 陈惠卿, 等. 芒果百香果复合饮料的研制[J]. 农产品加工, 2023, (16): 25–28.  
CHEN WM, HUANG LY, CHEN HQ, *et al.* Development of a mango passion fruit complex drink [J]. Agric Prod Process, 2023, (16): 25–28.
- [23] SANTOS MS, ALBERTINA S, MIGUEL L, *et al.* Production of probiotic passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) drink using *Lactobacillus reuteri* and microencapsulation via spray drying [J]. Foods, 2020. DOI: 10.3390/foods9030335.
- [24] 高玉洪, 乔继雄, 秦桂华. 普洱市柠檬产业发展研究与探讨[J]. 普洱学院学报, 2023, 39(3): 6–8.  
GAO YH, QIAO JX, QIN GH. Research and Discussion on the Development of Lemon Industry in Pu'er City [J]. Proceed Pu'er Univ, 2023, 39(3): 6–8.
- [25] 田海, 王军. 柠檬萃取物与抗生素复配物抑菌性能评价[J]. 中国新技术新产品, 2023, (11): 51–53.  
TIAN H, WANG J. Evaluation of the bacteriostatic properties of lemon extract and antibiotic compound [J]. New Technol New Prod China, 2023, (11): 51–53.
- [26] 查杨, 张丰, 周洁, 等. 柠檬苦素抑制凋亡、促进自噬并通过 PPAR $\alpha$  促进脂肪酸氧化代谢改善非酒精性脂肪性肝病[J]. 药理学, 2023, 58(8): 2402–2414.  
ZHA Y, ZHANG F, ZHOU J, *et al.* Limpatrine inhibits apoptosis, promotes autophagy and promotes fatty acid oxidation metabolism through PPAR $\alpha$  to ameliorate non-alcoholic fatty liver disease [J]. J Pharm, 2023, 58(8): 2402–2414.
- [27] 吴斌, 黄东梅, 邢文婷, 等. 不同黄金百香果品种果肉挥发性成分分析[J]. 中国果树, 2023, (9): 57–64.  
WU B, HUANG DM, XING WT, *et al.* Analysis of pulp volatile composition of different golden passion fruit varieties [J]. Fruit Trees China, 2023, (9): 57–64.
- [28] 辛明, 孙宇, 冯锦清, 等. 百香果果实香气物质研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(11): 247–251.  
XIN M, SUN Y, FENG JQ, *et al.* Progress on aroma substances of passion fruit [J]. Food Ind, 2022, 43(11): 247–251.
- [29] 马璟, 李蔚然, 王丽杰, 等. 柠檬汁纳米银抗菌复合膜的制备工艺优化及性能研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(8): 31–40.  
MA J, LI WR, WANG LJ, *et al.* Preparation process optimization and performance study of nano-silver antibacterial composite membrane in lemon juice [J]. Food Ind Technol, 2022, 43(8): 31–40.
- [30] 蒋家璇, 韩盼盼, 孔振杨, 等. 百香果酵素自然发酵过程中代谢产物及抗氧化活性研究[J]. 农产品加工, 2022, (19): 10–13.  
JIANG JX, HAN PP, KONG ZY, *et al.* Study on metabolites and antioxidant activities during natural fermentation of passion fruit enzyme [J]. Process Agric Prod, 2022, (19): 10–13.
- [31] 代义闯, 马伊萨兰, 潘雨阳, 等. 百香果鲜榨汁对6种食源性致病菌的抑菌效果及被膜形成的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(12): 195–202.  
DAI YC, MA YSL, PAN YY, *et al.* The inhibitory effect of passion fruit fresh juice on membrane formation of six foodborne pathogenic bacteria [J]. Chin J Food Sci, 2018, 18(12): 195–202.
- [32] 石彬, 李咏富, 何扬波, 等. (60)Co- $\gamma$  射线辐照对“贵长”猕猴桃储藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(15): 6042–6048.  
SHI B, LI YF, HE YB, *et al.* Effect of (60)Co- $\gamma$ -ray irradiation on the storage quality of “Guichang” kiwi [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(15): 6042–6048.
- [33] 刘彩华, 曾嘉童, 包竹君, 等. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定芒果的可溶性糖含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2892–2900.  
LIU CH, ZENG JT, BAO ZJ, *et al.* 3,5-soluble sugar content of mango by colorimetric method with dinitrosalicylic acid [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(9): 2892–2900.
- [34] 李文文, 李怡, 尹娟娟, 等. 酸碱滴定法测定杏脯中二氧化硫含量的不确定度评定[J]. 食品安全导刊, 2023, (15): 89–92.  
LI WW, LI Y, YIN JJ, *et al.* Uncertainty assessment of the determination of sulfur dioxide content in preserved apricot by acid-base titration [J]. Chin Food Saf Magaz, 2023, (15): 89–92.
- [35] 刘丽, 赵海成, 王海峰, 等. 畜禽用维生素C溶液的制备及稳定性研究[J]. 北方牧业, 2023, (12): 10–12.  
LIU L, ZHAO HC, WANG HF, *et al.* Preparation and stability study of vitamin C solution used in livestock and poultry [J]. Northern Anim Husb, 2023, (12): 10–12.
- [36] 孙霞, 杨勇, 巩洋, 等. 市售四川香肠中生物胺含量比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(10): 147–151.  
SUN X, YANG Y, GONG Y, *et al.* Comparative analysis of biological amine content in commercially available Sichuan sausage [J]. Food Ferment Ind, 2015, 41(10): 147–151.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

## 作者简介



石彬, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品辐照加工。  
E-mail: 406140627@qq.com