

## 食品安全标准

## 不同工艺条件对浆水品质的影响及风味物质分析

代安娜<sup>1,2</sup>, 丁波<sup>1</sup>, 张晓蒙<sup>1</sup>, 丁功涛<sup>1,2</sup>, 刘红娜<sup>1,2</sup>

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃 兰州 730030;

2. 西北民族大学生物医学研究中心 中国—马来西亚国家联合实验室, 甘肃 兰州 730030)

**摘要:**目的 浆水是利用芹菜、包菜、白萝卜、面粉为原材料经过微生物发酵而成的一种特色传统发酵食品。方法 本文是以面粉添加量、发酵时间、引子添加量、发酵温度为单因素, 比较不同因素对浆水发酵评价指标的影响, 并采用固相微萃取-气相质谱-色谱联用法对浆水的风味物质进行分析。结果 确定最佳发酵工艺为: 面粉添加量为 2.5%, 发酵温度为 29 ℃, 发酵时间为 3 d, 引子添加量为 11%。在该条件下发酵的浆水组织均匀、口感偏酸、风味醇厚柔和, 风味物质共有 29 种, 主要由醛酮类物质, 烃类物质, 醇类物质, 酯类物质构成, 其中主要物质有: (R)-(+)-柠檬烯、乙酸乙酯、乙醇, 含量分别为 14.66%、10.52%、7.24%。结论 研究从浆水品质控制出发, 对其工艺进行标准化, 以保证浆水产品品质优良、可控, 助于保证食品卫生安全。

**关键词:** 浆水; 不同工艺条件; 品质; 风味物质

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2021)04-0497-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2021.04.017

**Effect different process conditions on quality of Jiangshui and determination of flavor substances**DAI Anna<sup>1,2</sup>, DING Bo<sup>1</sup>, ZHANG Xiaomeng<sup>1</sup>, DING Gongtao<sup>1,2</sup>, LIU Hongna<sup>1,2</sup>

(1. Life Science and Engineering of College, Northwest University for Nationalities, Lanzhou Gansu 730030; 2. China-Malaysia National Joint Laboratory, Biomedical Research Center, Northwest University for Nationalities, Gansu Lanzhou 730030, China)

**Abstract: Objective** Jiangshui is a kind of traditional fermented food made by microbial fermentation using celery, white cabbage, radish, and flour as raw materials. **Methods** We took flour addition, fermentation time, primer addition and fermentation temperature as single factors to compare the effects of different factors on the evaluation indicators of Jiangshui fermentation, solid phase microextraction (SPME) coupled with gas phase mass spectrometry (GMS) and chromatography (GC) were used to analyze the flavor compounds in Jiangshui. **Results** In summary, the optimal fermentation process was determined as follows: 2.5% of the flour was added, the fermentation temperature was 29 ℃, the fermentation time was 3 days, and the introduction addition was 11%. Under these conditions, the texture of Jiangshui was uniform, the taste was slightly sour and the flavor was mellow and soft. There were 29 kinds of flavor substances in Jiangshui, which were mainly composed of aldehydes and ketones, hydrocarbons, alcohols and esters. The main substances were: (R) - (+) -limonene, ethyl acetate and ethanol, with the contents of 14.66%, 10.52% and 7.24%, respectively. **Conclusion** For the purpose of controlling the quality of Jiangshui, the process was standardized to ensure that the quality of Jiangshui is good and controllable, and was helpful to ensure food hygiene and safety.

**Key words:** Jiangshui; different process conditions; quality; the flavor substances

浆水是我国西北地区极具地方特色的传统发

酵食品, 一般将芹菜、萝卜、卷心菜等蔬菜加入面汤经微生物发酵制成<sup>[1-3]</sup>。浆水呈淡白色、口感酸醇清香, 可直接饮用<sup>[4]</sup>, 也可作为酸味调味品或新型饮料。此外浆水还富含多种乳酸菌、有机酸以及其他易被消化吸收的营养物质<sup>[5]</sup>, 具有解腻开胃、改善食欲、改善肠道菌群平衡等作用<sup>[6-7]</sup>。这些营养物质可以提高矿物质的吸收, 降低肠道有害微生物的比例<sup>[8]</sup>。

收稿日期: 2021-02-01

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目基金 (31920190082); 教育部创新团队发展计划 (IRT\_17R88)

作者简介: 代安娜 女 研究生 研究方向为畜牧、畜产品加工

E-mail: anna17717774627@163.com

通信作者: 刘红娜 女 副教授 研究方向为畜产品加工及贮藏

E-mail: lhnxbmz@126.com

目前浆水多以家庭小作坊生产制作,没有严格的质量控制,安全性难以保证,容易对人体健康造成危害。国内外研究主要集中在发酵工艺的优化<sup>[9-11]</sup>、浆水中微生物的分离鉴定<sup>[12-16]</sup>、发酵过程中亚硝酸盐的控制<sup>[17-20]</sup>等方面。YAO等<sup>[21]</sup>采用固相微萃取结合气相色谱-质谱和电子鼻研究浆水发酵过程中挥发性成分的变化,以期确定一种利用风味评估浆水品质的有效方法,但关于浆水香型方面的具体研究较少。由于浆水仍以家庭制作、个人经验为主,因此在品质和风味上得不到保障<sup>[22]</sup>,且浆水的生产和加工没有统一标准,浆水销售的范围有限、市场小、口味单一、附加值低<sup>[23]</sup>,导致大众对浆水的接受程度不高,对我国浆水产业发展方面有很大限制<sup>[24]</sup>。

本研究探究浆水发酵过程中各因素(发酵时间、引子添加量、发酵温度以及面粉添加量)对浆水品质的影响,并采用固相微萃取-气相质谱-色谱联用法对浆水中的风味物质含量进行分析,探讨浆水中主要的风味物质,为浆水工艺发展提供理论依据,以保证浆水产品质量,有助于保证食品卫生安全,进而促进浆水的稳定发展。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

芹菜、包菜、萝卜均购自兰州市榆中县市场;酚酞、硫酸铜、硼酸钠、盐酸萘乙二胺、对氨基苯磺酸、亚硝酸钠、盐酸、冰乙酸、乙酸锌、亚铁氰化钾、乙醇、酒石酸钾钠、甲基蓝、氢氧化钠,均为分析纯,均购自上海国药试剂集团。

### 1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅 HWS28 型、电子天平 JA2003N 型、恒温干燥箱 DHP-9272 型、可调式电热板 ML-1.8-4 型(上海一恒科学仪器有限公司);酸度计 PHSJ-4A 型、酸式滴定管 A04963 型(上海精密仪器有限公司);手动固相微萃取装置 DVB-CAR-PDMS 型(美国 Supelco 公司);气相质谱-色谱联用仪 7890A-5975C 型(美国安捷伦公司)。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 工艺流程

蔬菜切段→热烫→制作面汤→罐装→冷却→加引子→封口(用纱布)→自然发酵→成品。

#### 1.3.2 操作要点<sup>[25]</sup>

##### 1.3.2.1 预处理

选择新鲜蔬菜并洗净,切成 2 cm 的小段,备用。

##### 1.3.2.2 烫漂

沸水中煮 2~3 min。

#### 1.3.2.3 制作面汤

于 2 L 60 ℃ 水中,边加面粉边搅拌。

#### 1.3.2.4 添加引子

待罐装后的半成品冷却至室温后,添加陈浆水引子。

### 1.3.3 浆水发酵条件的单因素试验设计

#### 1.3.3.1 面粉添加量的确定

引子添加量 10%,分别添加 1%、2%、3%、4%、5%的面粉后于 29 ℃ 恒温密封发酵 3 d,以 pH 值、总酸、亚硝酸盐、还原糖的含量为评价指标,探究不同面粉添加量对浆水发酵结果的影响。

#### 1.3.3.2 发酵温度的确定

面粉添加量为 3%、引子添加量为 10%,分别在 20 ℃、23 ℃、26 ℃、29 ℃、32 ℃ 的温度下,密封恒温发酵 3 d,以 pH 值、总酸、亚硝酸盐、还原糖的含量为评价指标,探究不同发酵温度对浆水发酵结果的影响。

#### 1.3.3.3 引子添加量的确定

面粉添加量为 3%,分别添加 0%、5%、10%、15%、20%的引子后于 29 ℃ 恒温密封发酵 3 d,以 pH 值、总酸、亚硝酸盐、还原糖的含量为评价指标,探究不同引子添加量对浆水发酵结果的影响。

#### 1.3.3.4 发酵时间的确定

面粉添加量为 3%、引子添加量为 10%,分别于 29 ℃ 恒温密封发酵 1、3、5、7、9 d,以 pH 值、总酸、亚硝酸盐、还原糖的含量为评价指标,探究不同发酵时间对浆水发酵结果的影响。

#### 1.3.3.5 正交试验优化发酵工艺

通过对单因素试验结果分析,发现面粉添加量、引子添加量、发酵时间、发酵温度这四个因素对浆水发酵的影响显著( $P < 0.05$ ),因此选用面粉添加量、引子添加量、发酵时间、发酵温度四因素,采用  $L_9(3^4)$  正交表进行正交设计试验。

表 1 浆水正交试验的因素及水平

Table 1 Factors and levels of Jiangshui orthogonal test

因素	水平		
	1	2	3
A 发酵温度/℃	28	29	30
B 发酵时间/d	2	3	4
C 面粉添加量/%	2.5	3	3.5
D 引子添加量/%	9	10	11

#### 1.3.4 感官评定

参照 GB/T 16291.1—2012 感官分析中的方法和要求组建感官评定小组(10 名男生,10 名女生)<sup>[26]</sup>,对试验样本进行感官效果评定,具体评定的标准如表 2 所示。

表2 感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standard

指标	标准	得分
色泽	蔬菜嫩黄色、半透明、有光泽,浆水淡白色	14~20
	蔬菜黄绿色、半透明、稍有光泽,浆水乳白色	7~14
	蔬菜灰黄色、略透明、发暗,浆水灰白色	<7
风味	酸香味浓、醇厚柔和、蔬菜清香味明显	25~35
	酸味不突出,蔬菜清香味略明显	15~25
	略有刺激味,蔬菜清香味不明显	5~15
	刺激味明显,蔬菜无清香味	<5
口感	酸度适中,蔬菜有明显的脆度	35~45
	偏酸,蔬菜有一定的脆度	20~35
	偏酸浓稠,蔬菜软烂	<20

### 1.3.5 理化指标的测定

pH值采用PHSJ-4A型酸度计测定;总酸的测定采用酸碱滴定法<sup>[27]</sup>;还原糖含量采用直接滴定法测定<sup>[28]</sup>;亚硝酸盐的测定采用分光光度法<sup>[29]</sup>。所有理化指标重复测定3次。

### 1.3.6 GC-MS条件

色谱条件:色谱柱:HP-INNOWAX(60 m×0.250 mm×0.5 μm);程序升温:初始温度60℃,保持1 min,以2℃/min的速率升至255℃,保持20 min;载气:高纯氮气(纯度≥99.999%);进样口温度:250℃;分流比:1:1。

质谱条件:电子轰击离子源;电子能量:70 eV;传输线温度250℃;离子源温度:230℃;溶剂延迟:6 min;质量扫描范围:m/z25-400 u。

### 1.3.7 综合指标评定

为准确高效评定浆水的发酵效果,对浆水样本的总酸含量、pH值、还原糖含量、亚硝酸盐含量及感官指标进行综合评定,以综合指标计分,综合指标评定标准如式(1):

$$\text{综合指标} = \frac{\text{总酸}}{\text{总酸最大值}} \times 100 \times 0.4 + \frac{\text{pH}}{\text{pH最大值}} \times 100 \times 0.1 + \frac{\text{还原糖}}{\text{还原糖最大值}} \times 100 \times 0.1 + \frac{\text{亚硝酸盐}}{\text{亚硝酸盐最大值}} \times$$

$$100 \times 0.1 + \frac{\text{感官得分}}{\text{感官得分最大值}} \times 100 \times 0.3 \quad (1)$$

## 1.4 统计学分析

所有试验结果均重复测定3次,以平均值±标准差表示;采用SPSS 22.0软件进行ANOVA单因素方差分析,采用Duncan法检验数据的差异显著性,以P<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 发酵时间的影响

如表3所示,随着发酵时间的变化,浆水的pH值逐渐降低,主要是由于随着发酵时间延长,导致浆水的产酸能力逐渐增强。总酸、还原糖的含量逐渐升高,这是由于发酵过程中酵母菌、乳酸菌及醋酸菌等菌类含量增多,且淀粉、蛋白质、无机盐等营养物质发生变化,产生还原糖、有机酸等物质<sup>[30]</sup>。硝酸盐含量会直接影响发酵蔬菜制品的品质,如果人体摄入过量的亚硝酸盐或硝酸盐会对人体健康产生一定程度的危害<sup>[4]</sup>。发酵过程中亚硝酸盐的含量先升高后降低,可能是因为浆水中硝酸盐还原酶活性增强,使得亚硝酸盐含量增多,随着发酵时间的延长,硝酸盐还原酶活性逐渐降低,使得亚硝酸盐含量降低<sup>[9]</sup>。当发酵时间为1 d时,蔬菜清香味不明显,酸度过低。当发酵时间为3 d时,亚硝酸盐含量保持在不超过20 mg/kg的安全范围内<sup>[29]</sup>,总酸含量、还原糖含量较高,酸度适中,浆水呈现乳白色,半透明,蔬菜的清香味明显且有一定的脆度。当发酵时间为5 d时,亚硝酸盐含量较高,当发酵时间7~9 d时,浆水中蔬菜软烂、有刺激味,酸度过高。综上所述,发酵时间为3 d时为最佳发酵时间。

表3 发酵时间的影响/d

Table 3 Effect of fermentation time/d

发酵时间	1	3	5	7	9
pH值	4.90±0.33 <sup>a</sup>	3.38±0.54 <sup>b</sup>	3.39±0.66 <sup>b</sup>	3.21±0.04 <sup>c</sup>	3.17±0.09 <sup>c</sup>
总酸含量/(g/kg)	2.73±0.13 <sup>c</sup>	4.27±0.54 <sup>b</sup>	6.46±0.65 <sup>ab</sup>	7.84±0.05 <sup>a</sup>	7.13±0.38 <sup>a</sup>
还原糖含量/%	0.18±0.06 <sup>c</sup>	0.85±0.19 <sup>bc</sup>	1.02±0.22 <sup>b</sup>	1.48±0.42 <sup>a</sup>	1.38±0.38 <sup>a</sup>
亚硝酸盐含量/(mg/kg)	4.61±0.64 <sup>e</sup>	10.09±0.98 <sup>b</sup>	12.38±1.05 <sup>a</sup>	6.06±0.33 <sup>bc</sup>	4.73±0.21 <sup>e</sup>

注:表中同行字母不同表示差异显著(P<0.05)

#### 2.1.2 面粉添加量的影响

如表4所示,随着面粉添加量的增加,浆水中的pH值先升高后降低,由于面粉添加量不同,导致其产酸速度先增大后减小,总酸、还原糖的含量逐渐升高。主要由于发酵过程中,随着面粉添加

量增加,淀粉等营养物质增多,使得营养物质与微生物发生反应后产生的有机酸、还原糖等物质的含量升高<sup>[30]</sup>。当面粉添加量为1%~3%时,亚硝酸盐的含量随面粉添加量升高而降低,是因为浆水中亚硝酸盐含量与硝酸还原酶活性相关,而硝

酸盐还原酶活性受到淀粉含量的影响,淀粉在淀粉酶与酸的作用下转化为糖,为微生物生长提供碳源,进而加快发酵速度,浆水酸度增加,抑制硝酸盐还原酶活性<sup>[9]</sup>,导致亚硝酸盐含量降低。当面粉添加量为1%~2%时,总酸含量与还原糖含量较低,且浆水透明度高,清香味不明显,当面粉添

加量为3%时,酸度适中,还原糖、总酸含量较高,亚硝酸盐含量在安全范围内且相对较低<sup>[29]</sup>,浆水色泽呈现乳白色,略有光泽,蔬菜具有明显的香味且有一定的脆度。当面粉添加量4%~5%时,亚硝酸盐含量较高,浆水透明度低,蔬菜脆度小,且汤汁过于黏稠。综上,3%为面粉最佳添加量。

表4 面粉添加量的影响/%

Table 4 Effect of the amount of flour added/%

面粉添加量	1	2	3	4	5
pH值	3.24±0.41 <sup>ab</sup>	3.29±0.26 <sup>ab</sup>	3.52±0.16 <sup>a</sup>	3.53±0.08 <sup>a</sup>	3.17±0.32 <sup>c</sup>
总酸含量/(g/kg)	1.56±0.58 <sup>e</sup>	2.05±0.33 <sup>c</sup>	3.60±0.56 <sup>b</sup>	4.30±0.32 <sup>ab</sup>	5.30±0.71 <sup>a</sup>
还原糖含量/%	0.39±0.38 <sup>e</sup>	0.60±0.07 <sup>e</sup>	0.76±0.05 <sup>ab</sup>	0.82±0.19 <sup>ab</sup>	0.96±0.42 <sup>a</sup>
亚硝酸盐含量/(mg/kg)	9.61±1.02 <sup>b</sup>	8.29±0.21 <sup>c</sup>	8.62±0.36 <sup>c</sup>	11.08±0.41 <sup>a</sup>	11.26±0.55 <sup>a</sup>

注:表中同行字母不同表示差异显著

### 2.1.3 发酵温度的影响

如表5所示,随着发酵温度的升高,浆水的pH值逐渐下降,总酸的含量逐渐升高,还原糖的含量先升高后降低,这主要是由于在浆水发酵过程中,浆水中的淀粉在淀粉酶的作用下分解为还原糖、有机酸等物质,当还原糖达到峰值后,它会被进一步分解,导致其含量下降<sup>[30]</sup>。亚硝酸盐的含量先降低后急速升高,由于酸度的增加,硝酸还原酶活性受到抑制<sup>[9]</sup>,导致亚硝酸盐含量降低,随后由于产

酸能力的下降,又使亚硝酸盐含量上升。当发酵温度分别为20℃~26℃时,总酸含量、还原糖含量均偏低,29℃时总酸的含量相对较高,还原糖的含量最高,亚硝酸盐的含量在安全范围内<sup>[29]</sup>,浆水为乳白色,半透明,略有光泽,蔬菜的清香味明显且有一定的脆度。当32℃时,还原糖含量降低,亚硝酸盐含量较高,且浆水菜过于软烂。综上所述,浆水的发酵温度为29℃时为最佳的发酵温度。

表5 发酵温度的影响/℃

Table 5 Effect of fermentation temperature/℃

温度	20	23	26	29	32
pH值	4.00±0.03 <sup>a</sup>	3.70±0.54 <sup>b</sup>	3.46±0.55 <sup>c</sup>	3.70±0.46 <sup>b</sup>	3.22±0.34 <sup>c</sup>
总酸含量/(g/kg)	0.64±0.35 <sup>e</sup>	1.92±0.67 <sup>bc</sup>	2.18±0.43 <sup>b</sup>	4.45±0.22 <sup>a</sup>	5.09±0.84 <sup>a</sup>
还原糖含量/%	0.56±0.36 <sup>bc</sup>	0.63±0.54 <sup>b</sup>	0.79±0.55 <sup>ab</sup>	0.96±1.02 <sup>a</sup>	0.42±0.34 <sup>c</sup>
亚硝酸盐含量/(mg/kg)	8.21±0.34 <sup>b</sup>	7.28±0.34 <sup>b</sup>	6.67±0.37 <sup>bc</sup>	5.98±0.39 <sup>c</sup>	13.20±0.76 <sup>a</sup>

注:表中同行字母不同表示差异显著

### 2.1.4 引子添加量的影响

如表6所示,随着引子添加量的增加,pH值趋于稳定,总酸、还原糖的含量先升高后降低,主要是因为发酵时浆水中的乳酸菌等菌种的含量增多,与浆水中淀粉等物质发生反应加快,产生的还原糖、有机酸等物质增多,当还原糖等物质含量达到峰值后,为了维持平衡,它们会被分解,导致含量下降<sup>[30]</sup>。亚硝酸盐的含量逐渐降低并趋于平稳,可能是由于引子中的乳

酸菌进行乳酸发酵,抑制硝酸盐还原酶的活性,使亚硝酸盐含量降低<sup>[9]</sup>。在引子添加量为0~5%时,总酸、还原糖含量较低。亚硝酸盐含量较高,在引子添加量为10%时,总酸、还原糖含量最高,亚硝酸盐含量在安全范围内<sup>[29]</sup>,浆水略有光泽,蔬菜清香且脆度适中,当引子添加量15%时,总酸、还原糖含量过低,当引子添加量达到20%时,其口感过酸,还原糖含量偏低。因此,10%为引子最佳添加量。

表6 不同引子添加量对浆水发酵的影响/%

Table 6 Effect of different lead additive amount on Jiangshui fermentation/%

引子添加量	0	5	10	15	20
pH值	3.43±0.21 <sup>b</sup>	3.32±0.15 <sup>bc</sup>	3.78±0.06 <sup>a</sup>	3.45±0.18 <sup>b</sup>	3.01±0.09 <sup>c</sup>
总酸含量/(g/kg)	1.37±0.08 <sup>c</sup>	1.92±0.04 <sup>b</sup>	2.39±0.06 <sup>a</sup>	2.05±0.07 <sup>ab</sup>	2.13±0.05 <sup>a</sup>
还原糖含量/%	0.48±0.07 <sup>b</sup>	0.46±0.05 <sup>bc</sup>	0.77±0.15 <sup>a</sup>	0.40±0.08 <sup>c</sup>	0.49±0.06 <sup>b</sup>
亚硝酸盐含量/(mg/kg)	13.28±0.83 <sup>a</sup>	10.43±0.64 <sup>ab</sup>	8.06±0.12 <sup>b</sup>	7.65±0.43 <sup>c</sup>	7.89±0.05 <sup>bc</sup>

注:表中同行字母不同表示差异显著

## 2.2 正交试验设计结果

正交试验表明,R 值越大,对浆水品质的影响就越大。由表 7 可知影响浆水品质的因素顺序为 C>B>A>D,即为面粉添加量>发酵时间>发酵温度>引子添加量。由此可知,面粉添加量为影响浆水品质的关键因素,根据上述正交试验设计结果最终得出浆水发酵最佳的条件为即发酵时间为 3 d、发酵温度为 29 ℃、面粉添加量为 2.5%、引子添加量为 11%。以综合指标为品质评定标准,在此发酵条件下制作出来的综合指标得分最高为 79.02 ( $P<0.05$ ),颜色呈淡白色,透明,有光泽,风味酸香醇厚,蔬菜有明显的清香味,且在口感上有一定的脆度。

表 7 正交试验设计结果

Table 7 Orthogonal experimental design results

序号	A(发酵温度)	B(发酵时间)	C(面粉添加量)	D(引子添加量)	综合指标
1	1	1	1	1	72.11 <sup>e</sup>
2	1	2	2	2	68.83 <sup>d</sup>
3	1	3	3	3	55.23 <sup>b</sup>
4	2	1	2	3	79.02 <sup>a</sup>
5	2	2	3	1	67.41 <sup>e</sup>
6	2	3	1	2	64.87 <sup>f</sup>
7	3	1	3	2	49.97 <sup>i</sup>
8	3	2	1	3	73.46 <sup>b</sup>
9	3	3	2	1	56.98 <sup>e</sup>
K <sub>1</sub>	65.390	67.033	70.147	65.500	
K <sub>2</sub>	70.433	69.900	68.277	61.223	
K <sub>3</sub>	60.137	59.027	57.537	69.237	
R	10.296	10.873	12.610	8.014	
影响顺序	C>B>A>D				
最优组合	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>3</sub>				

注:表中同列中字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.3 风味物质分析结果

由表 8 可知,浆水中的风味物质一共含有 29 种,其中醛酮类物质有 4 种,烃类物质 11 种,醇类物质 5 种,酯类物质 8 种,其他类物质为 1 种。含量相对较大的物质为异硫氰酸烯丙酯(42.44%), (R)-(+)-柠檬烯(14.66%),乙酸乙酯(10.52%),乙醇(7.24%),正戊烷(4.52%),异硫氰酸 3-丁烯-1-基酯(2.79%)。醛酮类物质产生方式主要是由不饱和脂肪酸的热降解和氧化以及氨基酸的降解<sup>[31]</sup>,在醛酮类物质中,相对含量较高的物质为异戊醛、2-庚酮,异戊醛具有苹果香气,2-庚酮具有强烈的水果香气,由于其相对含量较低,因此对浆水风味物质的形成贡献较小。在烃类物质中,含量较高的物质主要有  $\beta$ -蒎烯、(R)-(+)-柠檬烯,其中  $\beta$ -蒎烯具有树脂香气,是香料合成的重要原料,(R)-(+)-柠檬烯,属于单环单萜,具有柠檬香气<sup>[32]</sup>,正戊烷具有薄荷香味,由于烷烃类的相对含量低,对浆水风味形成的贡献小,萜烯类的相对含量较高,对浆水风味形

成贡献较大。在醇类物质中,含量较高的物质主要有乙醇、正己醇、2-壬醇,其中乙醇有酒香味,正己醇具有清香、花香、青草的气味,2-壬醇呈很强的生水果气味,脂香以及花香,但由于醇类的相对含量较低,对风味形成贡献较小,对酯类的形成起到了重要作用。在酯类物质中,含量较高的物质主要有乙酸乙酯、异硫氰酸烯丙酯,其中异硫氰酸烯丙酯具有刺激味,乙酸乙酯具有果香味和甜味<sup>[33]</sup>,是浆水风味物质形成的主要成分,且相对含量占比最高,对浆水形成风味物质的贡献较大。

表 8 浆水发酵过程中挥发性物质 GC-MS 分析结果

Table 8 Results of GC-MS analysis of volatile substances

in slurry fermentation process

类别	化合物名称	相对含量/%
烃类	(2-乙氧基-1-甲氧基乙氧基)乙烯	1.26
	beta-蒎烯	1.04
	月桂烯	0.75
	3-甲基-6-(1-甲基乙亚基)环己烯	0.63
	(R)-(+)-柠檬烯	14.66
	间伞花烃	2.07
	(3E)-3,7-二甲基辛-1,3,6-三烯	0.54
	1-甲基-4-(1-甲基乙基)-1,4-环己二烯	1.25
	L-石竹烯	0.42
	正戊烷	4.52
	$\beta$ -芹子烯	0.34
醇类	乙醇	7.24
	丙醇	0.64
	1-戊醇	0.65
	正己醇	1.01
	2-壬醇	1.59
酯类	乙酸乙酯	10.52
	丙酸乙酯	0.27
	乙酸甲硫醇酯	0.22
	异硫氰酸环丙酯	0.8
	异硫氰酸烯丙酯	42.44
	异硫氰酸 3-丁烯-1-基酯	2.79
	(E,E)-2,4-己二烯酸乙酯	1.00
	癸酸乙酯	0.29
醛酮类	异戊醛	0.55
	己醛	0.22
	2-庚酮	0.43
	3-羟基-2-丁酮	0.41
其他	二甲基二硫	0.52

综上所述,醛酮类物质主要为浆水提供清香、果香的芳香特质。烃类物质主要为浆水提供柠檬香气、树脂香气、薄荷香气。醇类物质为浆水提供植物香气、脂香和酒香。酯类物质主要为浆水提供水果香气和酒香,该结果与李多佳等<sup>[34]</sup>报道一致。浆水风味物质的形成由上述物质共同作用。

## 3 结论

采用单因素实验和正交试验设计,通过组合法得到浆水最佳发酵工艺条件:面粉添加量为 2.5%,

发酵时间为3 d,发酵温度为29 ℃,引子添加量为11%。在此条件下发酵的浆水,汤汁乳白色、蔬菜呈嫩绿色,清香味明显且有一定脆度,半透明,略有光泽,风味醇厚柔和、无刺激味,其口感略酸。通过固相微萃取-气相质谱-色谱联用技术法得出风味物质共有29种,其中主要有4种醛酮类物质,11种烃类物质,5种醇类物质以及8种酯类物质,其中(R)-(+)-柠檬烯、乙酸乙酯、乙醇,其含量分别为14.66%、10.52%、7.24%,上述物质主要为浆水提供了植物香气、水果香气、树脂香气以及酒香。

本研究从浆水品质控制出发,对其工艺进行标准化,以保证浆水产品质量优良、可控,助于保证食品卫生安全,促进蔬菜原料的合理开发与有效利用。

## 参考文献

- [1] 史巧,刘毕琴,汤回花,等. 发酵蔬菜菌种应用及菌群调控研究进展[J]. 食品与发酵工业,2021,47(5):273-281.
- [2] 孙继承. 浆水与酸菜[J]. 四川烹饪,2006,(1):18.
- [3] 李德风,黎迅,刘焱,等. 发酵蔬菜的安全性研究进展[J]. 中国酿造,2016,35(4):11-14.
- [4] 贾雄飞. 不同蔬菜浆水营养成分分析与芹菜浆水饮料研制[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [5] 柳艳云,杨亚强,段学辉. 西北传统美食浆水的研究进展[J]. 食品与发酵工业,2017,43(11):262-267.
- [6] 杨佐毅,李理. 传统发酵蔬菜汁中一株酵母菌的鉴定及其凝固豆乳机理的研究[J]. 大豆科学,2008(4):648-653.
- [7] 王丽萍,李珊妮,柴春蓉,等. 传统发酵食品浆水工艺对其品质影响研究进展[J]. 湖北农业科学,2019,58(S1):7-9.
- [8] 赵树欣. 应重视对我国传统发酵食品的研究:兼论发酵食品的功能成分[J]. 中国食物与营养,2004,(1):28-30.
- [9] 何玲. 浆水芹菜营养成分与亚硝酸盐变化规律及加工机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [10] 侯智勇,黄文刚,孙晋康,等. 川北地区浆水菜传统发酵工艺的初步研究[J]. 中国调味品,2015,40(7):100-103.
- [11] 吕嘉桡,李良凤. 传统浆水菜发酵工艺条件的研究[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版),2013,31(3):89-92.
- [12] 吴燕,伏二伟,桑学财,等. 传统浆水中乳酸菌的筛选及抑菌性能分析[J]. 食品研究与开发,2019,40(22):42-48.
- [13] 张晓辉,杨靖鹏,王少军,等. 浆水中细菌多样性分析及乳酸菌的分离鉴定[J]. 食品科学,2017,38(4):70-76.
- [14] 吴燕. 特色自然发酵浆水中乳酸菌的筛选、表征及应用[D]. 无锡:江南大学,2019.
- [15] ZHANG J, WU S H, ZHAO L H, et al. Culture-dependent and -independent analysis of bacterial community structure in Jiangshui, a traditional Chinese fermented vegetable food[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018,96:244-250.
- [16] 张勇,吕嘉桡,闫亚梅,等. 传统发酵浆水中乳酸菌和酵母菌的分离与鉴定[J]. 中国食品学报,2017,17(6):179-186.
- [17] 魏本良,刘长根,肖阳生,等. 基于 Illumina HiSeq 技术分析浆水中细菌多样性及理化性质[J]. 食品科学,2019,40(6):62-68.
- [18] 辛博,吕嘉桡,闫亚梅,等. 浆水发酵过程中中亚硝酸盐含量的工艺研究[J]. 中国调味品,2014(5):6-9.
- [19] 郑洁,胡向轩,张莉,等. 甘肃省市售浆水中亚硝酸盐含量测定[J]. 中国食品卫生杂志,2014,26(5):437-440.
- [20] GUO X, LIU B F, GAO L N, et al. Isolation of nitrite-degrading strains from Douchi and their application to degrade high nitrite in Jiangshui[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019,99(1):219-225.
- [21] YAO Y Z, PAN S Y, FAN G, et al. Evaluation of volatile profile of Sichuan dongcai, a traditional salted vegetable, by SPME-GC-MS and E-nose[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015,64(2):528-535.
- [22] 李宏珍,负建民,贾亚莉,等. 浆水传统酿制过程中挥发性物质的动态变化[J]. 食品与机械,2016,32(6):29-33.
- [23] 侯智勇,杨静,窦小玲,等. 浆水饮料的调配、澄清及挥发性风味成分分析[J]. 食品工业,2017,38(1):9-13.
- [24] 侯智勇,杨静,贾洪锋,等. 传统发酵食品——浆水菜研究概况及研究前景[J]. 中国调味品,2015,40(2):132-136.
- [25] 侯智勇,杨静. 川北地区浆水菜发酵工艺优化研究[J]. 中国调味品,2016,41(5):68-71.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 16291.1—2012,感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 12456—2008,食品中总酸的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [28] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7—2016,食品安全国家标准 食品中还原糖的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [29] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会;国家食品药品监督管理总局. GB 2762—2017,食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [30] 李良凤. 浆水中益生菌群的研究及浆水发酵工艺的研究[D]. 西安:陕西科技大学,2013.
- [31] 刘欣,赵改名,田玮,等. 肉桂添加量对卤鸡腿肉挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业,2013,39(6):34-40.
- [32] 卢靖,刘平,张明珠,等. 腐乳发酵过程挥发性风味成分的变化[J]. 食品科学,2014,35(16):175-179.
- [33] 翁丽萍,陈飞东,王宏海,等. SPME-GC-MS法分析温室甲鱼中的挥发性风味物质[J]. 食品工业,2014,35(12):266-269.
- [34] 李多佳,负建民,姚博,等. 不同加热处理对浆水挥发性成分变化的影响[J]. 食品与发酵工业,2017,43(2):115-121.