

# 浆水传统酿制过程中挥发性物质的动态变化

## Dynamic changes of volatile components in whey during traditional brewing processing

李宏珍<sup>1</sup> 贲建民<sup>1</sup> 贾亚莉<sup>2</sup> 赵凤琴<sup>2</sup> 赵小瑞<sup>2</sup> 漆倩涯<sup>2</sup>

LI Hong-zhen<sup>1</sup> YUN Jian-min<sup>1</sup> JIA Ya-li<sup>2</sup> ZHAO Feng-qin<sup>2</sup> ZHAO Xiao-rui<sup>2</sup> QI Qian-ya<sup>2</sup>

(甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070)

(College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**摘要:**采用顶空固相微萃取结合气相色谱—质谱(HS—SPME—GC—MS)法分析浆水发酵过程挥发性物质的变化。结果表明:在发酵期间,共检出挥发性物质 56 种,主要为醇类(19 种)、烃类(17 种)、醛酮类(9 种)、酯类(6 种)、酸类(2 种)。在发酵 0, 24, 48, 72, 96 h 时发酵液中分别检出挥发性物质 24, 29, 34, 34, 36 种,其中共有成分 12 种。随发酵的进行,挥发性物质的种类逐渐增多且新增酯类物质。发酵前期,醇类、烃类的相对含量有所下降,酯类和酸类的相对含量显著上升,而在发酵后期,各类物质的相对含量变化较小。此外,在发酵阶段醛酮类物质的相对含量变化较小。其中双戊烯、乙酸乙酯、己醛、蒎烯、苯乙醇、正己醇、乙酸、乙酸丙酯对浆水风味的形成贡献较大。

**关键词:**浆水;挥发性物质;动态变化

**Abstract:** Volatile compounds in whey sample in different stages during traditional brewing processing were analyzed by headspace solid phase micro-extraction (HS—SPME) and gas chromatography-mass spectrum (GC—MS) technique. The results indicated that 59 kinds of volatile components were identified, including alcohols, olefins, aldehydes and ketones, esters, acids. Totally 24, 29, 34, 34 and 36 kinds of volatile components were identified in whey samples fermented for 0, 24th, 48th, 72th, and 96th hours, respectively. Among them, twelve volatile compounds were common to the five samples. With the fermentation, the amounts of volatile components were increased, and esters were newly detected. The relative contents of alcohols and olefins were decreased, whereas the relative contents of esters and acids were increased at the fermentation early stage. However, the relative contents of all kinds of volatile compo-

nents changed slightly at the post-fermentation stage. In addition, the relative contents of aldehydes and ketones had no obviously changed. Among these volatile compounds, dipentene, ethyl acetate, hexanal, pinene, phenethyl alcohol, hexyl alcohol, acetic acid, propyl acetate had an important contribution to the flavor of whey during the fermentation processing.

**Keywords:** whey; volatile flavor; dynamic change

浆水是中国西北地区特有的一种发酵食品,其发酵经初期、中期和后期 3 个阶段<sup>[1]</sup>。制作工艺简单,主要是将质地较硬的蔬菜(如芹菜、苜蓿等)经焯水后倒入温水,再以老浆水为引子,加入面汤发酵而成。发酵成熟的浆水汤汁呈乳白色,其味酸爽可口,可直接饮用或作为调味品食用。浆水营养价值高,具有开胃解渴、医疗保健等特性<sup>[2]</sup>,且因其自身独特的良好风味,深受人们青睐。

近年来,中国对浆水的研究主要集中在其微生物的分离鉴定<sup>[3-5]</sup>、发酵过程中亚硝酸盐的控制<sup>[6]</sup>以及发酵工艺研究<sup>[7-8]</sup>等方面,而对风味的研究尚未见报道。众所周知,发酵食品具有反映文化、地域、气候差异的特点且其独特的风味主要是在发酵过程中形成。而浆水属于传统发酵食品,与纯种发酵食品相比,具有其特殊的风味、质地和色泽,且因其独有的地方特色、丰富的营养价值和保健作用深受人们喜爱。

目前,浆水大多以小作坊形式生产或以家庭自制食用为主,因其原料复杂性、地域特异性、季节性、制作方法粗放性、工艺多样化等特点使其风味差异较大<sup>[9]</sup>,并存在生产局限性、产品质量和规模化生产难以保证、没有相应的质量标准等问题。

为此,本试验以甘肃天水浆水传统酿制工艺为依托,拟对浆水发酵 0, 24, 48, 72, 96 h 时的发酵液动态跟踪取样,采用顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术分析浆水中的挥发性物质,旨在探究浆水传统酿制过程中风味物质受发

**基金项目:**甘肃省科技支撑计划(编号:1304FKCN063);甘肃农业大学青年导师基金(编号:GSU-QNDS-201205)

**作者简介:**李宏珍,女,甘肃农业大学在硕士研究生。

**通讯作者:**贲建民(1968—),男,甘肃农业大学教授,研究生导师。

E-mail: yunjianmin@gsau.edu.cn

**收稿日期:**2016—03—01

醇时间的影响,并明确酿制过程中的主体风味物质,为研究浆水良好风味、形成机理、制定浆水生产质量标准以及浆水品质检测指纹图谱提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

浆水:甘肃天水孟姑浆水厂;

电子天平:FA1204B型,上海佑科仪器仪表有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:CLARUS-600型,美国PerkinElmer公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 挥发性成分的提取 参考陈志杰等<sup>[10]</sup>的方法并略修改,将萃取头插于270℃气相色谱进样口老化,直至无杂峰后使用。

称取2g浆水匀浆发酵液装入20mL样品瓶中,添加1g分析纯氯化钠加盖,振荡使其完全溶解,再将老化好的萃取头插入样品瓶的顶空部分,推出萃取头,使其与液面保持0.5cm,于40℃恒温水浴锅中萃取30min后,将萃取头插入气相色谱仪进样口,于250℃下解吸10min,并进行数据采集分析。

#### 1.2.2 挥发性成分的鉴定

(1) 色谱条件<sup>[11]</sup>:色谱柱(30mm×0.25mm×0.25μm);载气:氦气,流量1.0mL/min,不分流,进样口温度250℃,解吸10min;升温程序:初始温度40℃,保持5min,以5℃/min升至150℃,保持5min,再以3℃/min升至230℃,保留10min。

(2) 质谱条件:接口温度280℃,离子源温度230℃,离子化方式EI+,电子能量70eV,扫描质量范围33~450amu。

质谱图采用NST08数据库进行检索,人工图谱解析,并结合保留时间等对各峰进行核对确认。并采用峰面积归一法进行定量分析,计算出浆水发酵各阶段所检出的挥发性物质的相对百分含量。

1.2.3 相对气味活度值(ROAV)测定 依据文献<sup>[12]</sup>,进行相对气味活度值计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同发酵时间浆水中挥发性物质总离子流图

采用HS-SPME-GC-MS分析浆水发酵0,24,48,72,96h时发酵液中的挥发性物质,得到GC-MS总离子流图见图1。

### 2.2 不同发酵时间浆水中挥发性物质分析

各组分经NST08数据库检索、分析,结果见表1。由表1可知,浆水在发酵过程中共检出56种挥发性物质,主要有醇类(19种)、烃类(17种)、醛酮类(9种)、酯类(6种)、酸类(2种)和其他类(3种)。

浆水发酵0h时共检出24种挥发性风味物质,包括醇类12种,烃类7种,醛酮类4种,酸类1种。其中相对含量较大的化合物为双戊烯(47.26%)、乙醇(7.93%)、正己醇(4.82%)、乙酸(4.77%)、丙醇(7.93%)等。

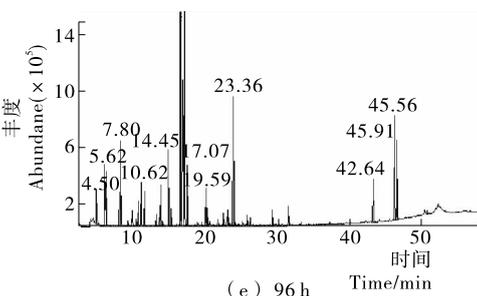
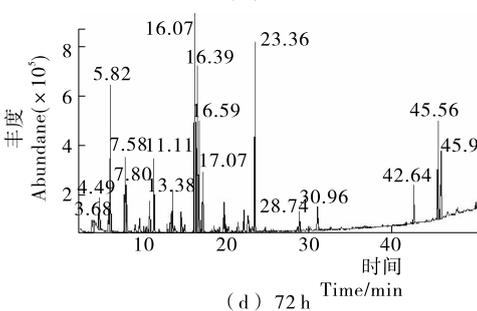
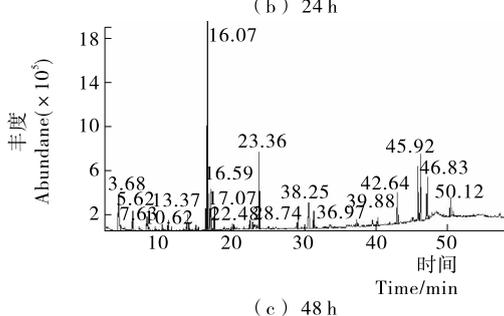
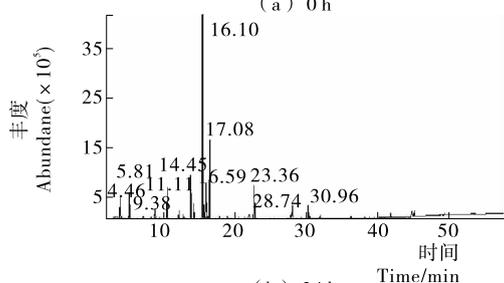
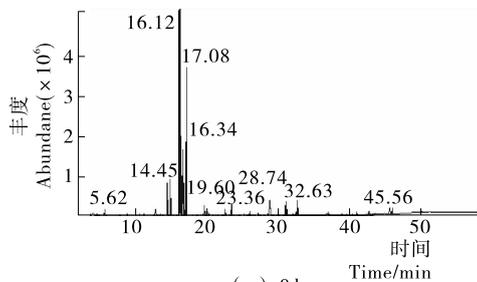


图1 浆水发酵过程中挥发性物质GC-MS总离子流图  
Figure 1 Total ion chromatogram of volatile components in whey by GC-MS

浆水发酵24h后共检出29种挥发性风味物质,包括醇类9种,烃类12种,醛酮类1种,酯类4种,酸类1种。其中相对含量较大的化合物为双戊烯(40.75%)、乙醇(6.27%)、乙酸丙酯(5.87%)、甲酸戊酯(5.53%)、己醛(4.33%)、丙酸乙酯(3.47%)、乙酸乙酯(3.36%)等。

浆水发酵48h后共检出34种挥发性风味物质,包括醇

类 11 种, 烃类 10 种, 醛酮类 5 种, 酯类 2 种, 酸类 2 种。其中相对含量较大的化合物为双戊烯 (35.23%)、乙酸乙酯 (12.12%)、乳酸 (11.24%)、乙酸丙酯 (7.42%)、乙酸 (5.37%)、乙醇 (4.24%)、丙醇 (3.05%) 等。

浆水发酵 72 h 后共检出 34 种挥发性风味物质, 包括醇

表 1 浆水酿制过程中挥发性物质 GC-MS 分析结果

Table 1 Changes in volatile compounds of whey during fermentation

类别	组分	相对含量/%				
		0 h	24 h	48 h	72 h	96 h
醇类 (19 种)	乙醇	7.93	6.27	4.24	2.80	6.80
	丙醇	4.23	3.63	3.05	1.69	2.59
	1-戊醇	0.10	—	—	0.09	—
	正己醇	4.82	3.37	2.11	2.30	2.58
	反式-2-辛烯-1-醇	0.43	—	0.02	0.24	—
	葑醇	0.96	0.29	0.42	2.27	0.46
	$\beta$ -松油醇	2.24	—	0.64	2.54	0.59
	4-萜烯醇	3.48	—	1.35	1.78	0.37
	alpha-松油醇	1.82	—	0.16	1.00	1.53
	异戊醇	—	0.33	—	—	0.74
	2-甲基-1-丁醇	—	0.03	—	—	0.11
	庚醇	—	0.13	—	—	—
	苯乙醇	2.29	5.24	3.07	—	2.88
	3-己烯-1-醇	—	—	0.02	—	0.05
	L-香芹醇	—	—	0.07	—	—
	叶醇	0.47	—	—	—	—
	苯基-3-丁烯醇	0.31	—	—	—	—
	1-辛烯-3-醇	—	—	—	—	0.10
	异丁醇	—	2.46	—	—	—
桉烯	—	—	0.01	—	—	
2-甲基辛烷	0.13	0.22	—	—	0.08	
3-崖柏烯	—	—	—	0.03	—	
蒎烯	2.97	1.8	0.14	0.23	0.27	
茨烯	—	—	—	0.06	—	
$\beta$ -蒎烯	—	0.41	0.15	2.27	0.24	
月桂烯	2.08	2.05	0.09	2.00	0.24	
双戊烯	47.26	40.75	35.23	25.46	30.68	
罗勒烯	—	—	—	2.48	—	
萜品烯	3.11	2.35	0.11	0.43	0.19	
烃类 (17 种)	3, 4-二甲基苯乙烯	—	—	—	0.03	—
	2, 6-二甲基-2, 4, 6-辛三烯	—	0.03	—	0.03	—
	1-石竹烯	—	1.42	0.15	0.24	0.23
	$\alpha$ -石竹烯	—	0.26	—	0.21	—
	B-瑟林烯	3.17	0.28	0.11	0.43	0.09
	壬烷	3.12	3.11	0.13	—	0.35
	右旋萜二烯	—	0.07	0.11	—	—

续表 1

类别	组分	相对含量/%				
		0 h	24 h	48 h	72 h	96 h
醛酮类 (9 种)	戊醛	0.84	—	1.06	0.26	—
	己醛	2.53	4.33	1.50	1.78	2.19
	2-己烯醛	—	—	—	0.03	—
	癸醛	—	—	—	0.84	—
	顺-2-庚烯醛	0.79	—	0.02	—	0.16
	反-2-辛烯醛	0.16	—	0.02	—	0.03
	苯乙醛	—	—	2.51	—	2.04
	香叶基丙酮	—	—	—	2.35	—
	L-香芹酮	—	—	—	—	0.28
	乙酸乙酯	—	3.36	12.12	11.83	15.09
酯类 (6 种)	丙酸乙酯	—	3.47	—	—	—
	乙酸丙酯	—	5.87	7.42	8.1	5.47
	甲酸戊酯	—	5.53	—	—	—
酸类 (2 种)	苯氧乙酸烯丙酯	—	—	—	—	0.05
	丙酸丙酯	—	—	—	2.19	1.36
	乙酸	4.77	4.81	5.37	2.80	4.77
其他 (3 种)	乳酸	—	—	11.24	14.79	16.92
	四异丙基甲苯	—	0.29	—	1.90	0.04
	萘	—	—	—	0.14	—
其他	3, 4, 5, 6-四氢苯酐	—	—	—	—	0.03

类 9 种, 烃类 13 种, 醛酮类 5 种, 酯类化合物 3 种, 酸类 2 种, 其他化合物 2 种。其中相对含量较大的化合物为双戊烯 (25.46%)、乳酸 (14.79%)、乙酸乙酯 (11.83%)、乙酸丙酯 (8.10%)、乙酸 (2.80%)、 $\beta$ -松油醇 (2.54%) 等。

浆水发酵 96 h 后共检出 36 种挥发性风味物质, 包括醇类 12 种, 烃类 9 种, 醛酮类 5 种, 酯类 4 种, 酸类 2 种, 其他化合物 2 种。其中相对含量较大的化合物为双戊烯 (30.68%)、乳酸 (16.92%)、乙酸乙酯 (15.09%)、乙醇 (6.80%)、乙酸丙酯 (5.47%)、乙酸 (4.77%)、苯乙醇 (2.88%) 等。

浆水在发酵过程中挥发性物质种类的变化见图 2。由图 2 可知, 随着浆水发酵的进行, 挥发性物质的种类总体呈上升趋势。且各挥发性物质的相对含量 (图 3) 也随着发酵的进行变化较大。浆水在发酵 0, 24, 48, 72, 96 h 时分别检出 24, 29, 34, 34, 36 种挥发性风味物质。

### 2.3 不同发酵时间浆水中挥发性物质变化

2.3.1 醇类化合物 浆水在发酵期间醇类物质的种类及其相对含量变化较小, 发酵开始时共检出 18 种, 其相对含量为 29.06%, 发酵 96 h 时, 共检出 8 种, 相对含量下降到 18.8%。其中苯乙醇、正己醇、丙醇、乙醇是检出的醇类物质中相对含量较高的几种, 苯乙醇具有新鲜面包香、清甜玫瑰香; 正己醇具有水果香、清香; 丙醇具有酒精味; 乙醇具有酒香味。在整个发酵过程中醇类的相对含量达到最高值后有所下降, 可能是浆水发酵过程中微生物的代谢和醇类发生酯化、氧化反应的原因<sup>[18]</sup>。在食品风味的形成中醇类主要赋予食品植物香

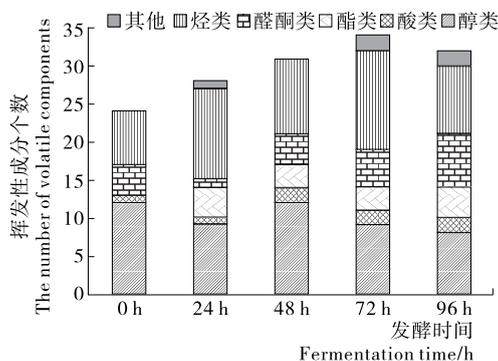


图2 浆水不同发酵时间挥发性物质个数

Figure 2 Changes in the kinds of volatile components in whey during fermentation

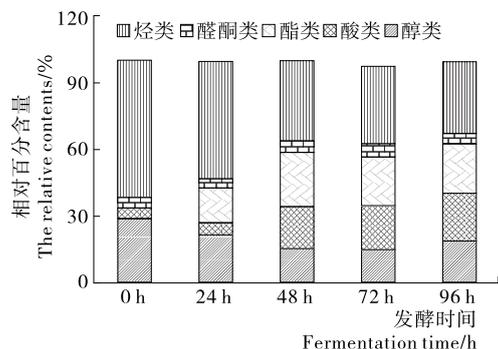


图3 浆水不同发酵时间挥发性物质含量变化

Figure 3 Changes in the relative contents of volatile components in whey during fermentation

味和芳香味,但风味阈值较高。在浆水发酵中醇类的相对含量较低,对风味形成的贡献较小,但醇类可与有机酸作用形成酯类物质,这对浆水风味的形成起到了至关重要的作用。

**2.3.2 烃类化合物** 浆水在发酵期间共检出烃类物质17种,在所检出挥发性物质中所占的比例最大,其相对含量在32.37%~61.85%,其中烷烃类2种,相对含量较低,烯烃类15种,相对含量变化较大。烃类物质的相对含量随发酵时间的延长呈下降的趋势,主要是由于烃类化合物主要是由发酵过程中糖代谢以及各级物质分解而成,是其他化合物的中间代谢产物<sup>[14]</sup>。

由于烷烃的风味阈值高<sup>[15]</sup>且相对含量低,所以对浆水风味形成贡献小。而萜烯类物质风味阈值低<sup>[16]</sup>,在浆水风味形成中扮演着重要的角色。本供试浆水中检出的单萜烯类化合物——双戊烯和蒎烯的相对含量较高且阈值低,其中双戊烯的相对含量在25.46%~47.26%,是检出的所有化合物中相对含量最高的化合物,主要赋予食品柠檬香味<sup>[17]</sup>;蒎烯的相对含量在0.14%~2.97%,是辛香料的成分,主要赋予食品树脂香气。所以双戊烯和蒎烯在浆水风味形成中的贡献率较大。

**2.3.3 酸类化合物** 浆水在发酵期间共检出乳酸和乙酸2种酸类物质。随发酵的进行,酸类物质的相对含量逐渐升高,从开始的4.77%增加到21.69%,增加幅度较大。对于发酵食品而言,酸类物质可为食品提供酸味也可形成某种风味

物质或是合成酯类物质的前体类物质<sup>[18]</sup>。浆水发酵中酸类物质的相对含量逐渐升高,这主要是由于随着发酵的进行乳酸菌逐渐增加,而乳酸菌的不断产酸使得酸类化合物的相对含量升高。

**2.3.4 醛酮类化合物** 浆水在发酵期间共检出醛酮类物质9种,其中酮类2种。在发酵前、中期相对含量逐渐升高,从发酵初的4.32%升高到发酵中期时的5.62%,发酵后期相对含量有所下降为4.90%。浆水发酵过程中醛酮类物质含量基本保持不变,可能是发酵对醛酮类化合物的影响不大。对于醛类化合物其风味阈值较低<sup>[19]</sup>,主要赋予食品清香、果香及坚果的芳香特质,本浆水中己醛是醛类中相对含量最高且在发酵各阶段较稳定的化合物,具有青草的清香气味<sup>[20]</sup>,对食品风味的形成贡献较大。而酮类化合物的检出少、含量低且阈值较高<sup>[21]</sup>,对浆水风味的贡献小。

**2.3.5 酯类化合物** 浆水在发酵期间共检出酯类物质6种。发酵刚启动时未检出,但在发酵后期酯类物质的相对含量是所有物质中增加较快、且产生种类较多的一类,从发酵24h的15.73%增加到96h的21.97%,其对浆水风味形成的贡献是不可小觑的。在酯类微生物作用下醇类和酸类发生酯化反应而形成,是食品风味物质的主体成分,主要赋予食品香甜和果香味<sup>[22]</sup>。检出的酯类物质中相对含量较高的有乙酸乙酯和乙酸丙酯,其中乙酸乙酯具有强烈的果香、酒香香气、菠萝香和香蕉的香味,乙酸丙酯具有梨香的风味。因此,酯类物质对浆水风味的形成贡献较大。

**2.4 浆水发酵过程特征风味物质的确定**

浆水在发酵过程中的特征风味物质不仅与挥发性风味物质的相对含量密切相关,并且与其风味阈值也密切相关<sup>[23]</sup>。本试验结合浆水酿制过程中挥发性物质GC-MS分析数据,以风味贡献理论为基础,通过相对含量高阈值低的香气成分为依据计算主要风味物质的相对气味活度值(ROAV),来判定浆水中的特征香气成分,结果见表2。

根据表1、2数据结果表明,己醛在浆水发酵过程中相对含量均在1%以上,且感觉阈值低,对浆水风味的贡献大,因此以己醛为参照,计算各物质的ROAV值。由表2可知,己醛、蒎烯、乙酸乙酯、苯乙醇、正己醇、乙酸、乙酸丙酯,对浆水独特风味的形成贡献较大,可以确定为甘肃天水浆水的主体

表2 浆水发酵过程中主要挥发性风味成分

Table 2 The major volatile flavor compounds of whey during fermentation

化合物名称	香气阈值/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	ROAV	气味描述
己醛	0.004	5100.00	青草清香
蒎烯	0.006	89.10	树脂香气
乙酸乙酯	0.005	72.72	果香、酒香
苯乙醇	0.086	10.60	新鲜面包香
正己醇	0.25	3.40	水果香
乙酸	3.00	0.53	—
乙酸丙酯	25.00	0.10	梨香

风味物质。另外,从表 1 可知,双戊烯的相对含量为 47.26%,远远高于其他挥发性风味物质含量,且根据文献[16]可知,其风味阈值低,因此双戊烯对浆水风味的形成贡献也不可忽视,也应为甘肃天水浆水的主体风味物质之一。

同时,上述挥发性物质均表现为良好呈香特点,其中双戊烯可以赋予柠檬香味,乙酸乙酯具有强烈的果香、酒香气、菠萝香和香蕉的香味,己醛具有青草的清香气味,蒎烯是辛香料的成分,主要赋予树脂香气,苯乙醇具有新鲜面包香、清甜玫瑰香,正己醇具有水果香、清香,乙酸丙酯具有梨香的风味。因此,这些风味物质及其相互间的共同作用是构成甘肃天水浆水独特柔和良好风味的物质基础。

### 3 结论

(1) 在浆水发酵 0, 24, 48, 72, 96 h 时发酵液中共检出挥发性物质 56 种,各发酵阶段分别检出成分 24, 29, 34, 34, 36 种,其中共有成分 12 种。主要有醇类、酸类、烃类、酯类、醛酮类。在整个发酵过程中挥发性物质的种类总体呈上升趋势,且新增酯类化合物,在发酵前期酯类和酸类的相对含量显著上升,而醇类、烃类的相对含量均有所下降,发酵后期各类挥发性物质的相对含量变化较小,且在整个发酵过程中醛酮类化合物的相对含量基本保持不变。

(2) 综合分析浆水发酵过程中挥发性物质相对含量、稳定性及其风味阈值,得出双戊烯、乙酸乙酯、己醛、蒎烯、苯乙醇、正己醇、乙酸、乙酸丙酯对浆水风味形成具有较大的贡献,是甘肃浆水中的特征香气物质。

#### 参考文献

[1] 孟宪刚, 张丽珂, 周鸽鸽. 传统发酵食品—浆水研究概况及发展前景展望[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 402-404.

[2] 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]. 西安: 西北农林科技大学, 2007: 1-3.

[3] 李良风. 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: 1-5.

[4] 李雪萍, 李建宏, 孟宪刚, 等. 西北浆水中兼性厌氧菌的分离与鉴定[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 213-217.

[5] 张丽珂, 周鸽鸽, 孟宪刚. 传统发酵食品浆水中厌氧微生物分离鉴定初探[J]. 食品科技, 2010, 35(4): 39-41.

[6] 辛博. 浆水接种发酵中亚硝酸盐的控制研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 2-4.

[7] 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.

[8] 张培. 浆水制备工艺和营养成分分析方法的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014: 1-39.

[9] 龙立利, 史景山. 论中国传统发酵和现代发酵食品[J]. 发酵科技通讯, 2014, 43(1): 23-25.

[10] 陈志杰, 顾立众, 顾振新. 灵芝发酵过程中挥发性风味物质的变化研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(9): 58-61.

[11] 韩庆辉, 负建民, 宋勇强, 等. 凉州熏醋熏醋前后挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 146-151.

[12] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 金华火腿主体风味成分及其确定方法[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(2): 173-176.

[13] 吴海燕, 解万翠, 杨锡洪, 等. 固相微萃取—气相色谱—质谱联用法测定腌制金丝鱼挥发性成分[J]. 食品科学, 2010, 30(18): 278-281.

[14] 曹雪丹, 李二虎, 方修贵, 等. 蓝莓酒主发酵前后挥发性成分变化的 GC—MS 分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 179-184.

[15] 付湘晋, 许时婴, JINMOON K. 酸碱法提取鲢鱼蛋白脱腥及酵母脱腥机理[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(1): 59-60.

[16] HU Wei, ZHANG Liang-xiao, LI Pei-wu, et al. Characterization of volatile components in four vegetable oils by headspace two-dimensional comprehensive chromatography time-of-flight mass spectrometry[J]. Talanta, 2014, 129(21): 629-635.

[17] 卢靖, 刘平, 张丽珠, 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.

[18] 周晓媛, 邓静, 李福枝, 等. 发酵辣椒的挥发性风味成分分析[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(1): 54-59.

[19] 钱飞, 刘海英, 过世龙. 克氏原螯虾虾头酶解物挥发性风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2010, 31(4): 134-139.

[20] ELMORE J S, MOTTRAM D S, ENSER M, et al. Effect of polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1999, 47(4): 1 619-1 625.

[21] SIEK T J, ALBIN I A, SATHER L A, et al. Comparison of flavor thresholds of aliphatic lactones with those of fatty acids, esters, aldehydes, alcohols, and ketones[J]. Journal of Dairy Science, 1971, 54(1): 1-4.

[22] 邓静, 李萍萍. 大头菜腌制过程中挥发性香味物质变化分析[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 225-229.

[23] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 腊肠主体风味物质及其分析新方法[J]. 肉类研究, 2011, 25(3): 15-20.

(上接第 12 页)

[17] TANG Chuan-he. Thermal denaturation and gelation of vicilin-rich protein isolates from three Phaseolus legumes: A comparative study[J]. LWT - Food Science and Technology, 2008(41): 1 380-1 388.

[18] 易翠平, 姚惠源, 谢定. 碱处理对大米蛋白分子间作用力的影响[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(4): 1-4.

[19] 刘永乐, 王发祥, 周小玲, 等. 酶法脱酰胺对米谷蛋白分子微观结构的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 69-71.

[20] 杨盛楠, 翟爱华. 高压均质对大豆分离蛋白功能性质的影响[J]. 中国酿造, 2014, 33(12): 89-93.

[21] 张宏康. 超高压对生物大分子的影响研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001: 10.

[22] 涂宗财, 姜颖, 陈钢, 等. 动态超高压微射流对花生球蛋白结构和功能性质的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(12): 73-75.

[23] 涂宗财. 蛋白质动态超高压微射流改性研究及机理初探[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 48-49.

[24] 王章存, 申瑞玲, 姚惠源. 大米蛋白开发利用[J]. 粮食与油脂, 2004(1): 12-14.

[25] 张雪春, 涂宗财, 郑为完, 等. 超高压微射流均质中花生球蛋白的机械力化学效应研究[J]. 化学学报, 2009, 67(24): 2 862-2 866.