

传统酸粥发酵过程中挥发性风味物质的分析

洋洋¹, 乌有娜¹, 王玉荣², 双全^{1*}

(¹ 内蒙古农业大学 民族特色食品研发团队 呼和浩特 010018)

(² 湖北文理学院 乳酸菌生物技术与工程襄阳市重点实验室 湖北襄阳 441053)

摘要 采用气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析酸粥发酵过程中风味物质的变化,对其理化特性、感官品质进行分析。结果显示,在发酵 0~48 h pH 值由 4.09 快速降至 4.13,整体呈下降趋势,酸度呈阶梯式上升趋势,在发酵 0~48 h 酸度 4°T 上升至 31.2°T,总糖含量呈先上升后下降趋势,在发酵 0~6 h 总糖含量从 85 mg/L 上升至 93 mg/L,其在发酵 12~48 h 总糖含量从 83 mg/L 下降至 52 mg/L。随着发酵时间的延长,酸粥 L^* 值 0~48 h,从 57.5 降低至 30.55, a^* 值和 b^* 值在发酵 0~48 h 之间, a^* 值从 0.55 上升至 0.35, b^* 值从 0.35 上升至 5.70。从酸粥样品中共检测到 16 种氨基酸。发酵 48 h 时总氨基酸含量增至发酵 0 h 的 2 倍,其中谷氨酸和天门冬氨酸含量最高。电子鼻技术检测结果表明,对酸粥样品响应强度较大的为 W5S(氮氧化合物)、W1S(甲基类)和 W1W(硫化物灵敏)传感器。滋味方面,酸粥酸味、甜味和咸味的响应信号最强。GC-MS 分析显示,从酸粥中共检出 90 种挥发性化合物,其中乙酸乙酯、桉叶油醇、壬醛、庚酸乙酯和乙酸为酸粥中重要的香气成分。本研究为进一步开发酸粥产品提供理论参考。

关键词 酸粥; 发酵; 理化指标; 感官品质; GC-MS

文章编号 1009-7848(2023)12-0255-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.12.027

中国传统发酵食品有着悠久的历史,其原料与产品种类繁多,如酒精饮料、发酵乳制品、发酵谷物食品等^[1-2]。发酵谷物食品富含维生素、有机酸、氨基酸等^[3]。酸粥是内蒙古、山西、陕西和广西等地区的一种传统发酵食品^[4-5],主要以糜米、大米为原料的传统发酵食品,而在国外是以玉米、小麦等原料的发酵谷物诸多,例如 Banku^[6]、Oji^[7]、Idli^[8]、Kenkey^[9]等。糜米是一种药食同源食品,其必需氨基酸含量高,同时富含多种维生素^[10-11]。在国外,将谷物发酵粥供婴儿食用^[12],也说明谷物发酵食品极具营养价值^[13]。

酸粥发酵过程中,微生物的活动会产生一系列生化反应,从而赋予酸粥独特的风味。风味物质可分为挥发性风味物质与非挥发性风味物质等两种。挥发性风味物质一般包括醇类、酯类、醛类等能够通过嗅觉感知的物质,非挥发性风味物质包括氨基酸等能够通过味觉感知的物质。李文亚^[14]从酸粥中检测到 18 种氨基酸,并发现发酵后的酸

粥总氨基酸含量高于未发酵的糜米。秦慧彬等^[15]检测山西地区酸粥中的游离氨基酸,发现甜味和苦味氨基酸含量较高。折米娜^[16]采用 GC-MS 技术从酸粥中检测到酯类化合物、烷烃类化合物和醇类化合物等 146 种风味物质。王丹丹^[17]采用 GC-MS 技术从乳酸菌发酵的小米饮料中共检测到 31 种风味物质。在发酵过程中挥发性风味物质对酸粥的风味品质起至关重要的作用。

本文采用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)分析酸粥发酵过程中的挥发性风味物质,研究其理化性质和感官品质,为酸粥传统发酵产品开发提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

2020 年 8 月采集自内蒙古鄂尔多斯市农户家中以糜米和大米为原料自然发酵 24~30 h 的 2 份酸粥样本及市售糜米为原料。

1.2 仪器与设备

SX-500 蒸汽灭菌锅,日本 TOMY 公司;HH-4 数显恒温水浴锅,江苏荣华仪器制造有限公司;SW-CJ-2D 双人单面垂直净化工作台,苏州安泰空气技术公司;JY1002 电子天平,上海蒲春计量

收稿日期: 2022-12-27

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(2021MS03059);
锡林郭勒盟科技计划项目(202117)

第一作者: 洋洋,女,博士生

通信作者: 双全 E-mail: shuangquan688@126.com

仪器有限公司;UB-7 pH,美国 Denver Instrument 公司;U-5100UV/VIS 紫外可见分光光度计,日本 HITACHI 公司;LB32T 折射仪,广州市速为电子科技有限公司;CR20-色差仪,日本柯尼卡美能达公司;氨基酸分析仪,美国安捷伦科技有限公司;7890B-5977B 气相色谱-质谱联用仪,美国 Agilent 公司;SA402B 电子舌,日本 Insent 公司;PEN3 电子鼻,德国 Airsense 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 酸粥样本的制备 制作工艺:糜米→加水→杀菌→加入发酵引子→静置发酵 48 h。

本制备与采集:将糜米淘洗沥干后,与水为 1:3(g/L)的比例混合,再将 2 份酸粥为引子放入米汤中,共制备 9 份样品瓶。30 °C 恒温发酵 48 h。共 9 组(T0、T6、T12、T18、T24、T30、T36、T42、T48)9 个样品。

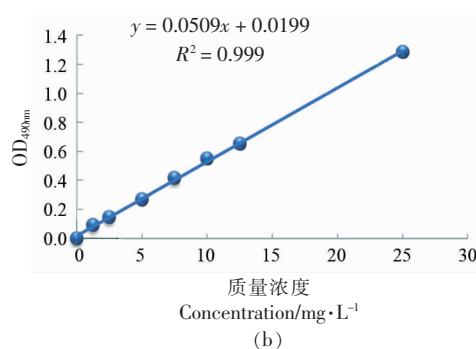
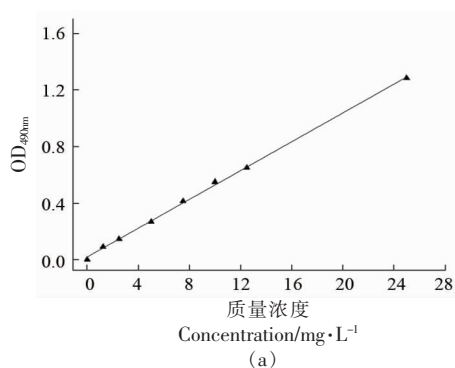


图 1 葡萄糖标准曲线

Fig.1 Standard curve graph

色度的测定:取 10 mL 样品,使用色差仪测定酸粥的色度。

1.3.3 风味物质的测定 氨基酸含量的测定:参照 GB 5009.5-2016(第一法),使用氨基酸分析仪测定酸粥样品的氨基酸含量。

气味品质的测定:取 20 mL 酸粥样品于 50 mL 离心管中,60 °C 恒温水浴 15 min 后冷却至室温。将电子鼻传感器清洁时间设为 90 s,采样时间为 60 s,调零时间为 5 s 进行测定。电子鼻 10 个传感器信息如表 1 所示。

滋味品质的测定:使用味觉分析系统测定酸粥的酸味、甜味、苦味、涩味、咸味、鲜味、后味 A、后味 B 以及丰度。测定方法为取 150 mL 样品进

1.3.2 理化指标的测定 pH 值测定:参照 GB5009.237-2016,取 10 mL 酸粥样品,使用 pH 计测定样品的 pH 值。

酸度^[18]的测定:采用酸碱滴定法测定酸粥样品的可滴定酸度。取 10 g 样品,加入 20 mL 重蒸水、两滴酚酞指示剂,再使用氢氧化钠溶液(0.01 mol/L)滴定至微红色且 30 s 不褪色为止。

总糖^[19]的测定:分别取 0.1,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 mL 葡萄糖标准溶液,加入蒸馏水至 2 mL,再加入 1 mL 5% 苯酚、5 mL 浓硫酸,30 °C 水浴 20 min,冷却至室温,以水为空白对照,于 490 nm 处测定吸光值,以葡萄糖溶液浓度为横坐标、相应吸光值为纵坐标绘制标准曲线,其线性函数为 $y = 0.0509x + 0.0199$, $R^2 = 0.999$,标准曲线如图 1 所示。

最后取 1.0 mL 酸粥样品,按上述步骤测定酸粥样品的吸光值。

表 1 PEN3 型电子鼻传感器性能描述

Table 1 Electronic nose sensors corresponding sensitive chemicals

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分,苯类
2	W5S	对氮氧化物灵敏
3	W3C	对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氧化物有选择性
5	W5C	对烷烃、芳香化合物灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

行抽滤,取滤液进行测定。

挥发性风味物质的检测:

样品的准备:取 5 mL 样品加入 20 mL 顶空瓶中,加盖密封。

气相色谱条件:色谱柱:DB-wax (30 m×0.25 mm,0.25 μm);载气:氦气(99.999%);流速:1 mL/min;进样方式:不分流进样;柱温:40 ℃保持 5 min,以 5 ℃/min 升至 220 ℃,20 ℃/min 升至 250 ℃,保持 2.5 min;进样温度:260 ℃。

质谱条件:电子轰击电离(EI)离子源,电子能量 70 eV;离子源温度:230 ℃;接口温度:260 ℃;四级杆温度:150 ℃;扫描方式:全扫描;质量范围:20~400。

1.4 数据分析

Excel 2010 软件进行数据记录与汇总。使用 SPSS 26 软件进行数据分析,数据以平均值±标准误差表示,当 $P<0.05$ 时组间差异显著,当 $P<0.01$ 时组间差异极显著。使用 Origin 2021 软件进行结果可视化。使用 R 3.6.3 软件对酸粥发酵过程挥发性风味结果可视化。

2 结果与分析

2.1 酸粥发酵过程中理化指标的分析

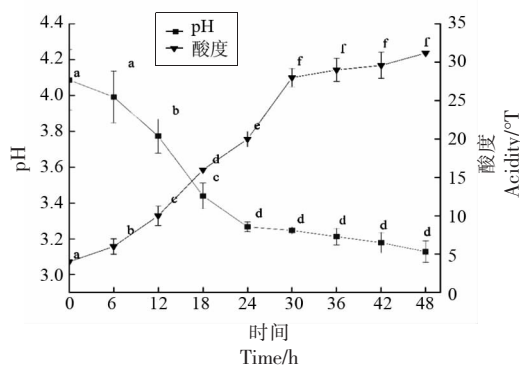


图 2 酸粥发酵过程中酸度的变化

Fig.2 Changes of acidity of congee during fermentation

2.1.3 发酵过程中色差值的变化 酸粥发酵过程中色泽的变化如表 2 所示。

L^* (亮度)值表示亮度,其值越大表示越亮, a^* (红绿)的正值为红,负值为绿, b^* (黄蓝)的正值为黄,负值为蓝。由表 2 可知,酸粥在发酵过程中 L^*

2.1.1 发酵过程中 pH 值和酸度含量的变化 酸度是监测发酵过程中微生物生长代谢的重要指标^[20]。

由图 2 可知,发酵过程中 pH 值整体呈下降趋势,在发酵 0~24 h 由 4.07 快速降至 3.31($P<0.05$),达到自然发酵酸粥酸度^[21],随后下降趋势放缓。发酵前期 pH 值迅速下降的原因可能是产酸微生物在此阶段较为活跃,代谢旺盛,产酸能力较强。整个发酵过程中的 pH 值范围在 3.13 至 4.09,能够有效抑制有害菌的生长,保证酸粥的品质^[22]。可滴定酸度具有显著($P<0.05$)上升趋势,与 pH 值呈现相反趋势。

2.1.2 发酵过程中总糖含量的变化 酸粥发酵过程中总糖含量的变化如图 3 所示。

由图 3 可知,在酸粥的发酵过程中总糖含量呈先上升后下降趋势,在发酵 6 h 达到峰值(95.621 mg/L)。前 6 h 显著上升($P<0.05$),可能是原料中淀粉含量较高,微生物生长环境的营养物质充足。在发酵 6~36 h 时下降($P<0.05$)可能是由于微生物快速生长并利用糖为其生长的碳源,使总糖含量逐渐降低。随着发酵环境的 pH 值逐渐下降,发酵后期微生物的生长受到抑制,糖代谢速率随之下降,同时淀粉水解导致总糖浓度上升。

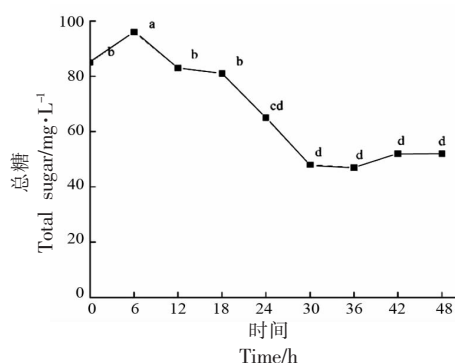


图 3 酸粥发酵过程中总糖的变化

Fig.3 Changes of total sugar content of congee during fermentation

随着发酵时间的增大而降低。 L^* 从 0 h 开始到 48 h,从 57.5 显著降低至 30.55($P<0.05$)。 a^* 和 b^* 随着发酵时间的增大而缓慢上升,但 a^* 的变化程度较小,说明发酵对 a^* 值影响较小。由此可知,酸粥样品呈微黄色。

表2 发酵过程中色差指标的变化
Table 2 Changes of color difference index of congee during fermentation

色差指标	发酵时间/h								
	0	6	12	18	24	30	36	42	48
L^*	57.50 ± 0.00 ^a	57.45 ± 0.21 ^a	46.9 ± 1.27 ^b	44.70 ± 1.27 ^b	39.05 ± 0.07 ^c	35.40 ± 0.00 ^{cd}	37.55 ± 2.33 ^d	31.65 ± 0.92 ^e	30.55 ± 0.64 ^e
a^*	-0.55 ± 0.07 ^a	-0.35 ± 0.21 ^{ab}	-0.25 ± 0.07 ^b	0.15 ± 0.07 ^c	0.20 ± 0.00 ^c	0.15 ± 0.07 ^{cd}	0.45 ± 0.07 ^{de}	0.40 ± 0.00 ^{de}	0.35 ± 0.07 ^e
b^*	0.35 ± 0.07 ^a	0.60 ± 0.00 ^a	2.20 ± 0.57 ^b	3.80 ± 0.42 ^c	3.85 ± 0.07 ^c	4.10 ± 0.14 ^{cd}	4.70 ± 0.14 ^{cd}	4.85 ± 0.07 ^{de}	5.70 ± 0.85 ^e

注:同行中标注不同角标者具有显著性差异($P<0.05$)。

2.2 发酵过程中挥发性风味物质的分析

2.2.1 氨基酸含量的变化

微生物可利用氨基酸作为其生长的氮源并进一步产生一些风味化合物,可见氨基酸对于微生物的生长和风味物质的

产生具有一定的影响力^[23-24]。从酸粥9个采样点样品中共检测到16种氨基酸,酸粥发酵过程中的氨基酸含量的变化见表3。

表3 酸粥发酵过程中氨基酸含量的变化 (mg/100 g)
Table 3 Changes of amino acid content in congee during fermentation (mg/100 g)

氨基酸	呈味特征 ^[78]	发酵时间/h								
		0	6	12	18	24	30	36	42	48
天门冬氨酸 (Asp)	鲜,甜	15.15 ± 0.07	16.15 ± 0.07	9.02 ± 0.04	17.15 ± 0.07	20.30 ± 0.14	21.55 ± 0.07	23.55 ± 0.07	18.15 ± 0.07	24.00 ± 0.00
苏氨酸 (Thr*)	甜,鲜	5.23 ± 0.01	5.99 ± 0.00	6.19 ± 0.04	7.15 ± 0.00	8.96 ± 0.09	10.10 ± 0.00	11.50 ± 0.00	8.71 ± 0.01	12.80 ± 0.00
丝氨酸 (Ser)	酸,鲜	5.73 ± 0.00	6.60 ± 0.01	6.08 ± 0.02	6.78 ± 0.00	8.83 ± 0.04	9.61 ± 0.02	9.92 ± 0.02	5.59 ± 0.01	8.61 ± 0.01
谷氨酸 (Glu)	鲜,苦	23.95 ± 0.19	23.65 ± 0.07	23.25 ± 0.07	23.70 ± 0.00	26.70 ± 0.14	29.30 ± 0.00	34.05 ± 0.07	27.90 ± 0.00	38.25 ± 0.07
甘氨酸 (Gly)	甜	8.26 ± 0.02	9.01 ± 0.04	9.315 ± 0.02	10.50 ± 0.00	12.75 ± 0.07	14.00 ± 0.01	15.80 ± 0.00	11.10 ± 0.00	17.20 ± 0.00
丙氨酸 (Ala)	甜	11.85 ± 0.07	13.25 ± 0.07	13.50 ± 0.00	15.70 ± 0.00	18.95 ± 0.07	20.65 ± 0.21	23.20 ± 0.00	16.55 ± 0.07	25.10 ± 0.14
缬氨酸 (Val*)	甜,苦	8.00 ± 0.00	8.82 ± 0.04	9.14 ± 0.04	10.60 ± 0.00	13.00 ± 0.141	14.60 ± 0.00	16.30 ± 0.00	14.90 ± 0.00	18.30 ± 0.00
蛋氨酸 (Met)	苦	0.85 ± 0.00	1.43 ± 0.02	1.29 ± 0.56	1.80 ± 0.01	2.88 ± 0.01	3.73 ± 0.02	2.98 ± 0.04	1.96 ± 0.04	5.91 ± 0.16
异亮氨酸 (Ile*)	苦	4.89 ± 0.01	5.42 ± 0.04	5.51 ± 0.01	6.36 ± 0.02	7.64 ± 0.05	8.60 ± 0.02	9.51 ± 0.00	8.78 ± 0.01	10.55 ± 0.07
亮氨酸 (Leu*)	苦	10.90 ± 0.00	11.85 ± 0.07	11.80 ± 0.00	13.75 ± 0.07	16.75 ± 0.07	19.00 ± 0.00	21.25 ± 0.07	19.95 ± 0.07	24.00 ± 0.00
酪氨酸 (Tyr)	苦	3.84 ± 0.01	4.31 ± 0.00	3.77 ± 0.01	3.67 ± 0.04	4.62 ± 0.16	4.92 ± 0.04	5.54 ± 0.01	3.58 ± 0.04	5.51 ± 0.04
苯丙氨酸 (Phe*)	苦	6.16 ± 0.01	6.43 ± 0.01	6.40 ± 0.09	7.23 ± 0.06	8.44 ± 0.06	9.21 ± 0.01	9.93 ± 0.04	8.59 ± 0.06	10.65 ± 0.07

(续表 3)

氨基酸	呈味特征 ^[78]	发酵时间/h								
		0	6	12	18	24	30	36	42	48
组氨酸	苦	6.13	6.41	6.62	6.65	7.10	8.09	8.47	6.93	9.54
(His)		± 0.04	± 0.22	± 0.02	± 0.01	± 0.19	± 0.07	± 0.33	± 0.02	± 0.11
赖氨酸	甜, 苦	6.23	7.41	7.57	8.76	10.70	12.20	13.45	11.96	14.95
(Lys*)		± 0.01	± 0.04	± 0.04	± 0.02	± 0.00	± 0.00	± 0.07	± 0.02	± 0.07
精氨酸	苦, 甜	13.30	13.65	13.50	15.45	18.40	20.35	19.65	15.30	24.20
(Arg)		± 0.00	± 0.07	± 0.00	± 0.07	± 0.14	± 0.07	± 3.46	± 0.00	± 0.00
色氨酸	苦	6.81	7.49	8.05	9.80	13.00	14.90	17.25	13.85	20.75
(Pro)		± 0.18	± 0.09	± 0.21	± 0.11	± 0.14	± 0.14	± 0.07	± 0.21	± 0.35
甜味氨基酸		31.57	35.65	36.57	42.11	51.36	56.95	63.95	48.32	70.05
		± 0.12	± 0.14	± 0.09	± 0.02	± 0.23	± 0.21	± 0.07	± 0.09	± 0.21
鲜味氨基酸		39.10	39.80	32.27	40.85	47.00	50.85	57.60	46.05	62.25
		± 0.19	± 0.14	± 0.12	± 0.07	± 0.28	± 0.07	± 0.14	± 0.07	± 0.07
E/T		35%	31%	36%	38%	39%	39%	39%	38%	39%

注:表中数据表现形式为平均值±标准差;*表示必需氨基酸;E/T为必需氨基酸占氨基酸总量的比例。

从表 3 可以看出,在酸粥发酵前 42 h 随着发酵时间的延长多数氨基酸逐渐增加,精氨酸、亮氨酸、丙氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸等在发酵过程中的变化较为显著。各氨基酸的含量在发酵前期与中期不断增加,在 42 h 时减少,但在发酵终点时达到最高值。发酵 48 h 时总氨基酸含量增加至发酵前(0 h)的 2 倍,表明发酵过程使酸粥风味更为丰富。值得一提的是,发酵 48 h 时的必需氨基酸与总氨基酸的比例为 39%,接近于 FAO/WHO 推荐的蛋白质中必需氨基酸占总氨基酸的百分比^[25],表明酸粥发酵可改善原料营养结构。

按照不同的呈味特征可将氨基酸分为甜味、鲜味和苦味氨基酸。鲜味氨基酸主要包括天门冬氨酸和谷氨酸,从表 3 可知,酸粥中的谷氨酸与天门冬氨酸含量最高,分别为 23.95~38.25 mg/100 g 和 15.15~24.00 mg/100 g。两种氨基酸含量较高的原因可能是由于酸粥中富含的乳酸菌促进谷氨酸和天门冬氨酸的释放^[26-27]。已有研究报道,鲜味氨基酸可使食品具有更佳的感官特性^[22,28]。甜味氨基酸在整个发酵过程中的变化较为明显(31.57~70.05 mg/100 g),主要在发酵中后期积累。作为苦味氨基酸不具有味觉活性,通常被鲜味和甜味所掩盖^[29]。蛋氨酸是一种苦味氨基酸,同时也是人体必需氨基酸,不仅对肝脏有保护作用还能够对高血压、抑

郁症等具有一定的治疗效果^[30]。

2.2.2 气味品质变化分析 使用电子鼻技术检测酸粥发酵过程中气味的变化,结果如图 4 所示。

由图 4a 可以看出,对样品响应强度较大的传感器有 W5S、W1S、W1W,它们分别对氮氧化物、甲基类、硫化物灵敏。不同发酵时间段样品差异较为显著的体现在 W5S、W1S 上,说明发酵对样品的氮氧化物、甲基类物质有较大影响。从图 4b 亦可知,响应强度大小依次为:W1S>W1W>W5S,即随着发酵时间的延长,以上 3 个传感器的响应强度越大。其余传感器,即 W1C、W3C、W5C、W6S、W2S、W2W 和 W3S 等检测到的挥发性风味物质较弱。

2.2.3 滋味品质变化分析 不同发酵时间酸粥在酸味、苦味、涩味、后味-B、后味-A、鲜味、丰度、咸味和鲜味的分布雷达图见图 5。

由图 5 可知,电子舌的 9 个传感器对不同发酵时间酸粥样品的滋味均做出不同程度的响应,其中酸味、甜味和咸味的响应信号最强。酸味是酸粥独特的滋味,随着发酵的进行其响应值越大。鲜味的响应值也随着发酵时间的延长而增强,而甜味和咸味的响应值却减小,说明酸粥的滋味偏酸且鲜味明显。涩味、苦味、回味-A、回味-B 和丰度的变化均不明显。

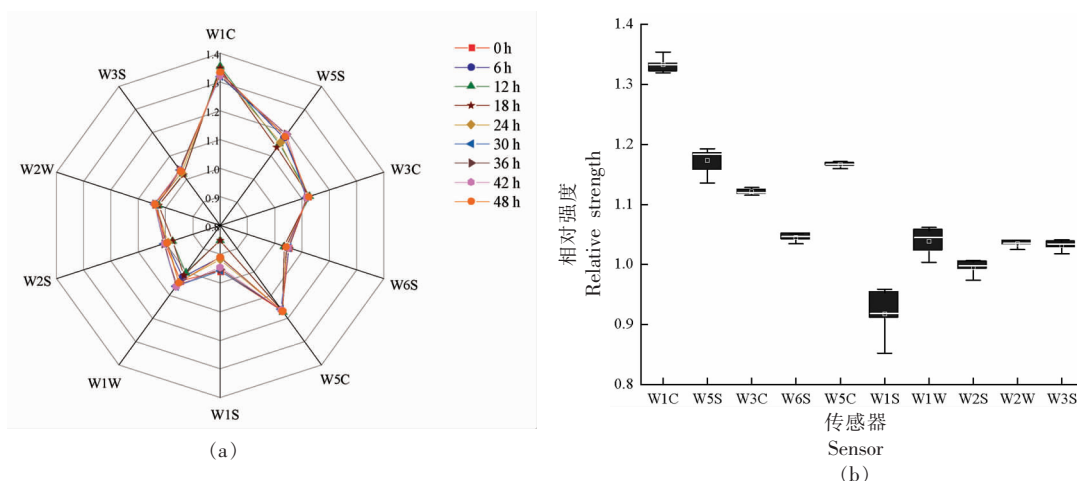


图4 酸粥发酵过程中各气味指标相对强度雷达图(a)和箱型图(b)

Fig.4 Rader chart and box diagram relative intensity of the flavor index in congee during fermentation

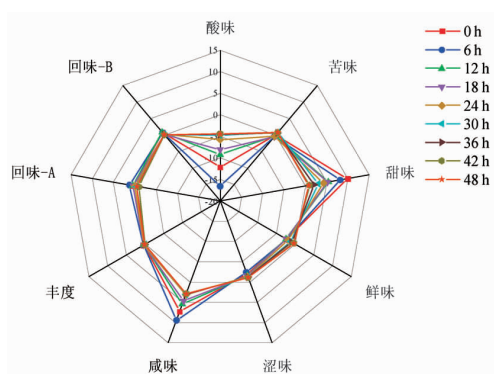


图5 酸粥发酵过程中各滋味指标相对强度雷达图

Fig.5 Rader chart relative intensity of the taste index in congee during fermentation

2.3 酸粥发酵过程中挥发性成分检测分析

2.3.1 酸粥发酵过程中挥发性成分的鉴定 采用 GC-MS 技术对不同发酵时间酸粥样品的挥发性成分进行检测,其总离子流图如图 6 所示。

从图 6 可知,酸粥发酵过程中的挥发性风味物质分离效果较好,并且种类丰富。从酸粥样品中共检测到 90 种化合物,可将其归为 8 类,包括酯类、醛类、烷烃类、醇类、酸类、呋喃类、酚类、酮类等。其中含量最多的为酯类和醇类,其次是醛类和烷烃类物质。

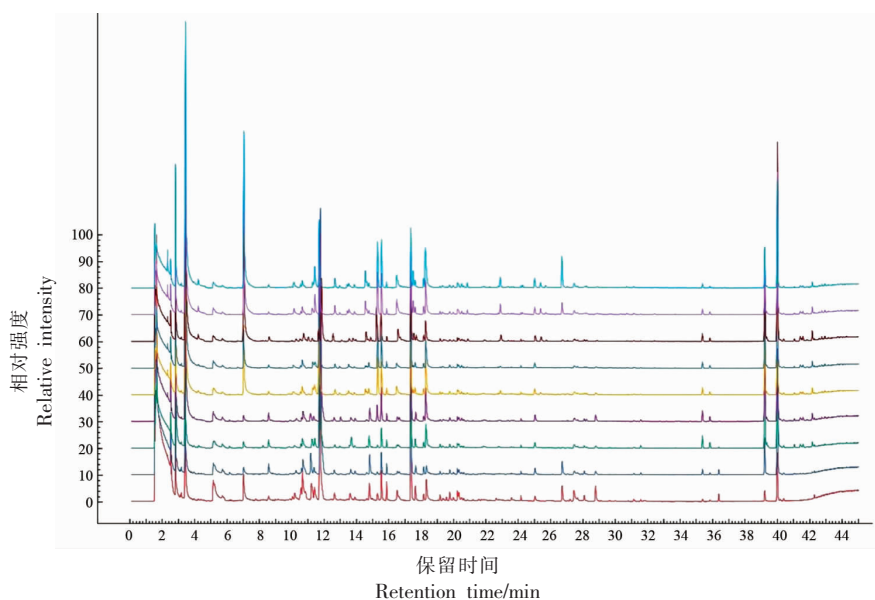
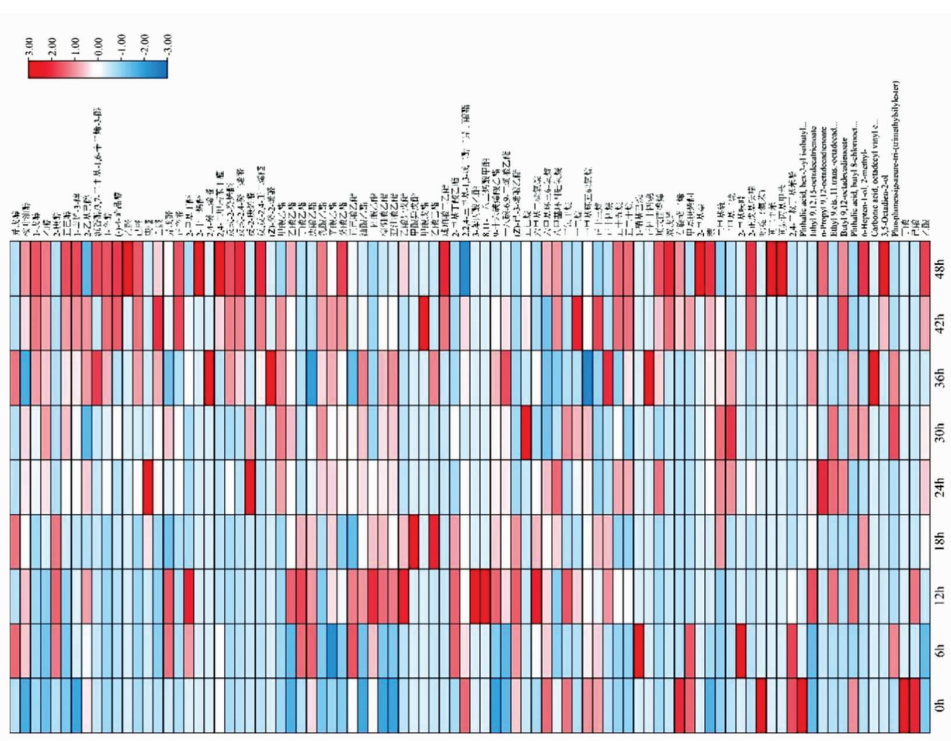


图6 不同时期酸粥的 GC-MS 总离子流图

Fig.6 GC-MS total ion current chromatograms of congee samples at different fermentation times

2.3.2 酸粥发酵过程中挥发性风味物质的变化 不同发酵时间段酸粥样品的香气成分的变化如图

7 所示。从酸粥中检测出 23 种酯类、15 种醛类、16 种烷烃类、11 种醇类、3 种酸类和 20 种其它物质。



注:图中蓝色越深表示物质含量越低,红色越深表示物质含量越高。

图 7 酸粥发酵过程中风味物质含量变化的热图

Fig.7 Heatmap showing changes in the contents of flavor components in fermented congee

由图 7 可知,发酵后期(18~48 h)时,热图的颜色主要以白色和红色为主,表示大多数挥发性风味化合物含量较高,酸粥的风味在发酵后期形成。

酯类物质是种类最多且含量最高的挥发性化合物,共检测出 23 种物质。酯类主要由醇和酸的酯化反应或微生物的作用下形成^[30]。从图 7 可以看出,乙酸乙酯、正己酸乙酯、亚油酸乙酯等物质随着发酵时间段的延长逐渐增多。而庚酸乙酯、辛酸乙酯、油酸乙酯、棕榈酸乙酯、2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯、十八碳-6,9-二烯酸乙酯等 6 种化合物在发酵过程中含量较为稳定。正己酸乙酯具有浓烈的酒香,辛酸乙酯具有白兰地酒香味,棕榈酸乙酯具有奶油香气,可以使酸粥风味清甜、饱满且独特。亚油酸乙酯能够降低血清胆固醇和低密度脂蛋白,主要用于预防并且治疗动脉硬化、心绞痛等疾病^[31]。另外,酯类化合物中有 18 种属于乙酯类,可以看出其在酸粥挥发性化合物组

成上具有重要的地位。

醛类主要由氨基酸代谢或不饱和脂肪酸氧化产生,在酸粥发酵过程中共检测到 15 种化合物。在所有醛类物质中己醛、壬醛等物质的含量较高,其中壬醛主要来自脂肪酸产生。但由于醛类物质较不稳定的性质在发酵过程中减少或者消失,在发酵过程中被氧化或挥发^[32]。

酸粥发酵过程中共检测到 16 种烷烃类物质,其中八甲基环四硅氧烷、十甲基环五硅氧烷这 2 种烷烃类挥发性物质含量较高。醇类物质具有令人愉快的香气,共检测到 11 种醇类物质,其中桉叶油醇、1-戊醇、乙醇、正己醇、1-辛烯-3-醇、1-辛醇等 6 种物质的含量随着发酵的进行而增加并且在 9 个时间点均被检测到。1-辛烯-3-醇具有典型的蘑菇气味。

挥发性酸对酸粥的风味具有很重要的影响,从酸粥共检测到 3 种挥发性酸类物质,分别为乙酸、己酸和丁酸。随着发酵的进行,乙酸的含量不

断上升,是酸粥中的主要酸类。己酸和丁酸只在发酵初期被检测到,丁酸具有强烈的刺激性气味,己酸具有类似牛奶和苹果的香味,两种化合物含量减少的原因可能与其在发酵过程中转化成己酸乙酯和丁酸乙酯有关。

2.3.3 酸粥发酵过程中挥发性风味物质的组成
基于挥发性化合物对发酵过程中酸粥样品进行聚类,同时结合各时间点样品风味化合物含量与数量进行分析,结果如图8所示。

从图8中可以看出,整个发酵过程中挥发风味物质具有显著变化,醇类物质呈现上升趋势,由发酵0 h的83.64 mg/kg增加至48 h的1 043.40 mg/kg。醛类物质在前18 h呈现缓慢下降,而后急剧上升至48 h,其含量高达818.84 mg/kg。酯类物质在发酵前30 h阶梯式上升,在发酵12 h酯类物质的含量达到峰值,可能与细菌菌群的变化有关。30~48 h缓慢下降,其发酵48 h的含量是发酵0 h的2.5倍。烷烃类物质呈先上升后下降趋势,在发酵前12 h快速积累至654.22 mg/kg。酸类物质在发酵过程中呈现上升趋势,由发酵0 h的34.98 mg/kg到48 h的140.68 mg/kg,是发酵前期的4倍。包含在其它类物质里的酚类、酮类只在发酵前期被检测到。呋喃类则具有上升趋势,但其种类与含量较小。

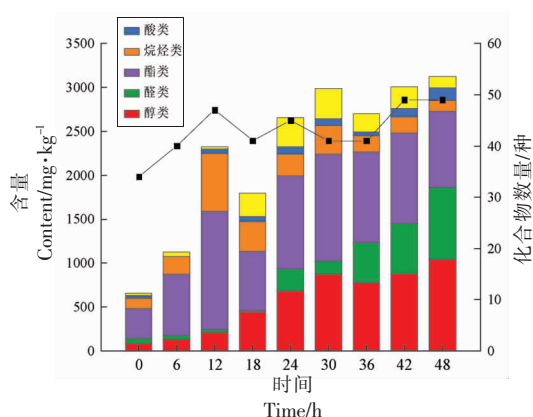


图8 酸粥挥发性风味化合物含量与数量的变化
Fig.8 The change of relative contents and types of flavor substances in fermented congee

2.3.4 基于OVA值分析酸粥关键香气成分
对挥发性化合物定性定量分析后,参考文献中的气味阈值^[33]计算各类物质的气味活性值(odor activity value, OAV)。计算公式:

$$OAV_i = C_i / OT_i \quad (1)$$

式中,OAV_i——物质的香气活性值;C_i——该物质在酸粥样品中的含量,mg/kg;OT_i——该组分的气味阈值。

当OAV值大于等于1时,该组分对酸粥风味具有重要影响^[34]。

表4 发酵过程中酸粥OAV值变化

Table 4 OAV value change in fermented congee

香气成分	阈值	发酵时间/h									
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	
桉叶油醇	0.01	0.00	637.07	658.08	461.10	570.09	605.08	0.00	596.40	759.05	
1-戊醇	5.00	1.57	1.55	1.57	1.57	2.45	2.41	3.81	4.29	4.77	
2-庚醇	0.25	0.00	11.73	13.00	11.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
正己醇	8.00	3.25	3.23	4.04	5.93	7.57	9.66	8.60	10.61	13.25	
1-辛烯-3-醇	0.61	0.00	13.00	13.56	11.25	16.00	15.03	18.88	25.27	31.39	
沉香醇	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	801.03	0.00	739.71	
1-辛醇	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	3.88	2.49	6.44	9.03	10.08	
乙醛	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.32	
己醛	4.50	6.61	2.43	2.64	2.30	41.69	25.06	83.03	99.27	112.18	
庚醛	3.00	0.00	0.00	0.00	0.51	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	
壬醛	0.04	263.47	98.38	127.62	173.39	638.37	529.35	865.55	1 377.97	754.65	
异戊醛	0.20	19.85	59.05	65.30	0.00	22.55	42.55	0.00	24.15	28.30	
正辛醛	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	1 991.09	1 597.70	0.00	6 293.06	5 999.10	
2-甲基丁醛	0.04	348.43	1 392.36	2 461.51	0.00	0.00	0.00	712.46	454.01	0.00	

(续表 4)

香气成分	阈值	发酵时间/h								
		0	6	12	18	24	30	36	42	48
反式-2-癸烯醛	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	55.30	0.00	133.63	151.15	188.56
反式-2,4-癸二烯醛	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5 554.32	8 915.55	13 619.84
反-2-庚烯醛	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00	22 827.62	9 997.51	0.00	0.00	0.00
(Z)-癸-2-烯醛	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.45	0.00	0.00
甲酸乙酯	6.60	0.00	0.00	0.00	0.00	15.99	19.39	17.56	17.30	0.00
乙酸乙酯	0.10	346.33	476.76	2 369.84	1 387.02	1 419.44	1 819.19	1 454.06	1 470.03	1 925.41
丁酸乙酯	0.45	0.00	28.00	33.56	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
庚酸乙酯	0.17	0.00	2.02	3.03	14.38	44.78	59.38	44.35	55.32	64.13
癸酸乙酯	0.02	0.00	0.00	52.10	0.00	74.03	72.99	71.75	114.64	160.11
正己酸乙酯	0.12	206.80	395.98	345.16	0.00	189.64	214.36	0.00	142.65	165.78
油酸乙酯	130.00	0.07	0.32	1.38	0.90	1.09	1.19	1.47	1.01	0.72
棕榈酸乙酯	4.00	0.59	1.47	4.71	3.79	3.34	3.42	3.83	2.97	2.34
乙酸异戊酯	0.80	0.00	0.00	4.15	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54
甲酸异戊酯	5.00	0.00	0.00	0.00	1.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
乙酸己酯	0.04	0.00	0.00	0.00	192.00	0.00	0.00	117.36	0.00	0.00
2-甲基丁酸乙酯	0.20	0.00	14.40	14.45	10.85	0.00	5.60	0.00	0.00	0.00
十八碳-6,9-二烯酸乙酯	4.00	0.00	0.00	1.31	1.14	1.24	1.20	2.16	1.27	0.82
正己烷	34.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.99	0.00	1.89	1.02
三氯甲烷	12.00	2.49	0.00	2.87	0.00	0.00	2.23	0.00	0.00	0.00
正十四烷	300.0	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
右旋萜二烯	1.25	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.19	1.70
二甲基硫	0.03	0.00	0.00	0.00	8 442.3	9 143.33	10 289	5 835.7	5 378.3	0.00
二甲基二硫	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14 325.3	21 630	13 122	0.00	0.00
2-正戊基咪喃	0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	4 489.73	0.00	0.00	10 813	13 874.0
吡啶	2.00	4.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
己酸	10.00	1.64	0.00	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
乙酸	1.20	13.83	3.32	36.22	50.01	72.73	63.86	38.24	82.56	117.24
甲基庚烯酮	1.00	2.32	2.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00
茶	0.36	10.25	23.94	30.81	31.67	39.78	39.00	42.17	48.75	70.17

注:OAV 值<1 的物质忽略不计。

由表 4 知,酸粥发酵(0~12 h)时 OVA \geq 10 的物质主要以桉叶油醇、2-庚醇、1-辛烯-3-醇、壬醛、异戊醛、2-甲基丁醛、乙酸乙酯、丁酸乙酯、正己酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯为主,表明这些物质在发酵前期对酸粥的风味起着重要的作用。值得一提的是,甲基庚烯酮、吡啶只在发酵初期被检测到。在发酵后期(18~48 h),沉香醇、壬醛、正辛醇、反式-2-癸烯醛、反式-2,4-癸二烯醛、二甲基硫、

二甲基二硫、2-正戊基咪喃等 8 种物质的 OAV 值均大于 1 000,表明发酵后期是酸粥风味形成的关键时期。其中,沉香醇、1-辛醇、乙醛、庚醛、正辛醇、反式-2-癸烯醛、反式-2,4-癸二烯醛、反-2-庚烯醛、甲酸乙酯、甲酸异戊酯、乙酸己酯、二甲基硫、二甲基二硫、2-正戊基咪喃等 14 种物质只在发酵后期被检测到。

桉叶油醇、1-戊醇、正己醇、1-辛烯-3-醇、己

醛、壬醛、乙酸乙酯、庚酸乙酯、油酸乙酯、棕榈酸乙酯、2-正戊基呋喃、乙酸等物质参与整个发酵过程,并且其 OAV 值随着发酵时间的延长而上升。其中乙酸乙酯为酸粥中最重要的香气成分,赋予了酸粥蜜糖甜味。其次为桉叶油醇、壬醛、庚酸乙酯、乙酸等。桉叶油醇有类似樟脑香气,庚酸乙酯具有菠萝香气均可用于制作香精香料。壬醛是不饱和脂肪酸氧化产生的,具有果香或花香,为天然

存在于果实中的化合物^[35]。乙酸是酸粥中主要酸类物质,在增加酸味的同时还可以有效增强抗氧化活性^[36]。

2.3.5 挥发性风味物质主成分分析 为了进一步明确酸粥的重要香气成分,对 OAV ≥ 1 的物质(43种)进行主成分分析,并提取前两个主成分绘制因子得分图和因子载荷图,结果见图9。

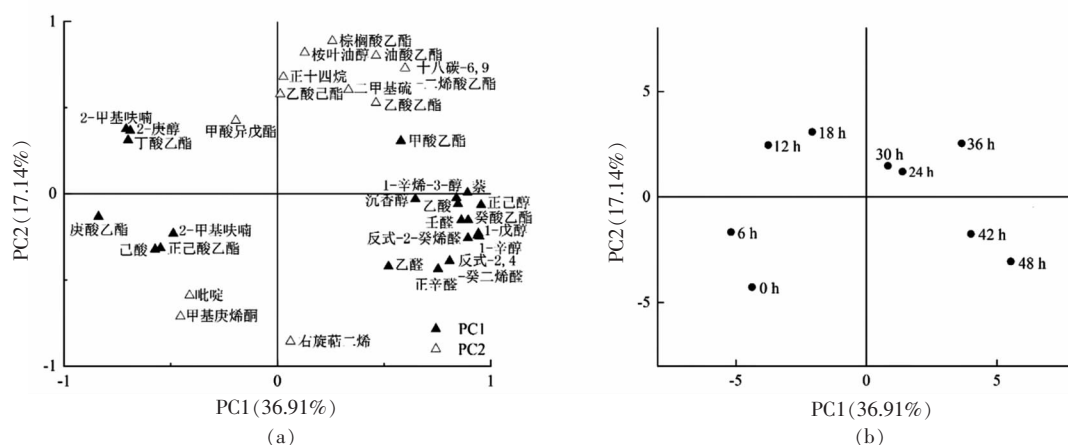


图9 酸粥发酵过程中挥发性化合物因子得分图(a)与因子载荷图(b)

Fig.9 Factor score graph (a) and factor loading graph (b) of free amino acids during congee fermentation

由图9a可知,第1主成分占37.2%,第2主成分占19.09%,累计方差贡献率达到56.29%。其中第一主成分包括1-戊醇、2-庚醇、正己醇、1-辛烯-3-醇、沉香醇、1-辛醇、乙醛、己醛、壬醛、正辛醛、反式-2-癸烯醛、反式-2,4-癸二烯醛、甲酸乙酯、丁酸乙酯、庚酸乙酯、癸酸乙酯、正己酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、2-甲基呋喃、己酸、乙酸和萘等。第二主成分包括桉叶油醇、乙酸乙酯、油酸乙酯、棕榈酸乙酯、甲酸异戊酯、乙酸己酯、十八碳-6,9-二烯酸乙酯、正十四烷、右旋萜二烯、二甲基硫、吡啶和甲基庚烯酮等。结合图9a和9b可以看出,乙酸乙酯、桉叶油醇、壬醛、乙酸等重要香气成分,说明酸粥关键香气在发酵第30~48h形成。

3 结论

采用GC-MS技术联合分析的手段探索酸粥发酵过程中重要风味物质及理化指标、感官品质的变化规律。研究表明,酸粥发酵过程中pH值整体呈下降趋势,而可滴定酸度具有显著($P < 0.05$)

上升趋势,与pH值呈现相反趋势,总糖含量呈先上升后下降趋势。酸粥发酵过程中共检测到16种氨基酸与90种风味化合物。通过发酵各氨基酸含量不仅有不同程度的上升,同时还发现发酵后的必需氨基酸与总氨基酸的比例更为合理。大多数风味化合物在发酵后期积累,醇类、醛类和酸类均呈现上升趋势,而酯类和烷烃类物质呈现先上升后下降趋势。通过计算OAV值发现酸粥中的主要香气成分为乙酸乙酯、桉叶油醇、壬醛、庚酸乙酯、乙酸等。采用电子鼻技术测定气味指标的变化发现对样品响应强度较大的电子鼻传感器为W5S(氮化合物)、W1S(甲基类)、W1W(硫化物)。同时采用电子舌技术检测滋味指标的变化发现响应信号最强的传感器为酸味、甜味和咸味传感器。

参 考 文 献

- [1] CUVAS-LIMON R B, NOBRE C, CRUZ M, et al. Spontaneously fermented traditional beverages as a

- source of bioactive compounds; an overview[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 61(18): 2984–3006.
- [2] LIU S N, HAN Y, ZHOU Z J. Lactic acid bacteria in traditional fermented Chinese foods[J]. *Food Research International*, 2011, 44(3): 643–651.
- [3] 葛珍珍, 王维静, 高珊珊, 等. 微发酵对面条风味及其储藏过程中品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(13): 95–102.
- GE Z Z, WANG W J, GAO S S, et al. Effects of micro fermentation on noodle flavor and quality characteristics during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(13): 95–102.
- [4] 秦慧彬, 黄志伟, 张志强, 等. 传统食品酸粥的发酵工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(17): 111–116.
- QIN H B, HUANG Z W, ZHANG Z Q, et al. Fermentation technology of traditional food sour porridge[J]. *Fermentation Industries*, 2019, 45(17): 111–116.
- [5] 薛建岗, 陈永福, 于海静, 等. 内蒙古西部地区自然发酵酸粥化学成分及微生物组成分析[J]. *食品科技*, 2013, 38(7): 10–14.
- XUE J G, CHEN Y F, YU H J, et al. Analysis of chemical composition and microbial composition of naturally fermented sour porridge in western Inner Mongolia[J]. *Food Technology*, 2013, 38(7): 10–14.
- [6] TULASHIE S K, APPIAH A P, TORQUO G D, et al. Determination of methanol and ethanol concentrations in local and foreign alcoholic drinks and food products (Banku, Gakenkey, Fante Kenkey and Hausakoko) in Ghana[J]. *International Journal of Food Contamination*, 2007, 4(1): 14.
- [7] 陈忠军, 杨晓清, 乌尼, 等. 内蒙古河套地区酸粥中乳酸菌的分离及其生物学特性的研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 23(3): 62–65.
- CHEN Z J, YANG X Q, WU N, et al. Isolation and biological characteristics of lactic acid bacteria from sour porridge in Hetao area of Inner Mongolia[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2002, 23(3): 62–65.
- [8] MUKHERJEE S K, ALBURY M N, PEDERSON C S, et al. Role of *Leuconostoc mesenteroides* in leavening the batter of Idli, a fermented food of India[J]. *Applied Microbiology*, 1965, 13(11): 227–231.
- [9] TENIOLA O D, HOLZAPFEL W H, ODUNFA S A. Comparative assessment of fermentation techniques useful in the processing of ogi[J]. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2005, 21(1): 39–43.
- [10] 李芳亮, 高杨, 王锐, 等. 响应面优化微波辅助提取糜米多糖工艺[J]. *食品科学*, 2012, 33(20): 46–50.
- LI F L, GAO Y, WANG R, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of millet polysaccharide by response surface methodology[J]. *Food Science*, 2012, 33(20): 46–50.
- [11] 闫丽丽, 陈忠军. 糜米活性乳酸菌发酵饮料加工工艺的研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2011(4): 54–56, 62.
- YAN L L, CHEN Z J. Research on the processing technology of beverage fermented by active lactic acid bacteria of milli rice[J]. *Agricultural Products Processing (Journal)*, 2011(4): 54–56, 62.
- [12] FABRICE B, LAURENCIA T S, YOUNA M H, et al. Improved processing for the production of cereal-based fermented porridge enriched in folate using selected lactic acid bacteria and a back slopping process[J]. *LWT*, 2019, 106: 172–178.
- [13] HE G Q, LIU T J, SADIQ F A, et al. Insights into the microbial diversity and community dynamics of Chinese traditional fermented foods from using high-throughput sequencing approaches[J]. *J. Zhejiang Univ Sci*, 2017, B18: 289–302.
- [14] 李文亚. 晋西北酸粥营养成分的分析及其发酵工艺的研究[D]. 太原: 山西大学, 2017.
- LI W Y. Analysis of nutritional components and study on fermentation technology of sour porridge in Northwest Shanxi[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017.
- [15] 秦慧彬, 田翔, 王海岗, 等. 超高效液相色谱法测定传统发酵酸粥的游离氨基酸含量[J]. *食品科技*, 2021, 46(4): 273–280.
- QIN H B, TIAN X, WANG H G, et al. Determination of free amino acids in traditional fermented sour porridge by ultra high performance liquid chromatography[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(4): 273–280.
- [16] 折米娜. 内蒙古西部地区酸粥真菌群落结构研究及分离菌株对品质影响的评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- SHE M N. Study on fungal community structure of

- sour porridge in western Inner Mongolia and evaluation of the effect of isolated strains on quality[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019.
- [17] 王丹丹. 小米发酵物菌种分离与在小米饮料中的应用[D]. 天津: 天津科技大学, 2018.
WANG D D. Isolation of millet ferment and its application in millet beverage[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品酸度的测定: GB 5009.239-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of food acidity: GB 5009.239-2016[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2016.
- [19] 董林青, 牛国文, 刘志毅, 等. 应用不同方法测定发酵液中的糖含量[J]. 广东化工, 2009, 36(9): 177-178, 189.
DONG L Q, NIU G W, LIU Z Y, et al. Determination of sugar content in fermentation broth by different methods[J]. Guangdong Chemical Industry, 2009, 36(9): 177-178, 189.
- [20] 姜丽, 苏伟, 母应春, 等. 基于 GC-TOF-MS 代谢组学研究高度黑糯米酒后发酵阶段代谢差异[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 88-94.
JIANG L, SU W, MU Y C, et al. Metabolomics study of high-grade black glutinous rice wine in post-fermentation stages based on GC-TOF-MS metabolomics[J]. Food Science, 2020, 41(14): 88-94.
- [21] 王志伟, 陈忠军. 不同乳酸菌菌株对酸粥品质影响的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(8): 61-64.
WANG Z W, CHEN Z J. Study on the effect of different lactic acid bacteria strains on the quality of sour porridge [J]. Food Science and Technology, 2010, 35(8): 61-64.
- [22] ZHONG A, CHEN W, DUAN Y, et al. The potential correlation between microbial communities and flavors in traditional fermented sour meat[J]. LWT, 2021, 149: 111873.
- [23] CHEN Q, LIU Q, SUN Q, et al. Flavour formation from hydrolysis of pork sarcoplasmic protein extract by a unique LAB culture isolated from Harbin dry sausage[J]. Meat Science, 2015, 100: 110-117.
- [24] LIU P, WANG Y, YE D, et al. Effect of the addition of branched-chain amino acids to non-limited nitrogen synthetic grape must on volatile compounds and global gene expression during alcoholic fermentation[J]. Australian journal of grape and wine research, 2018, 24(2): 197-205.
- [25] 李文亚. 晋西北酸粥营养成分的分析及其发酵工艺的研究[D]. 太原: 山西大学, 2017.
LI W Y. Analysis of nutritional components and Study on fermentation technology of sour porridge in Northwest Shanxi [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017.
- [26] 陈忠军. 内蒙古河套地区酸粥中发酵菌生物学特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2001.
CHEN Z J. Study on biological characteristics of fermenting bacteria in sour porridge in Hetao area of Inner Mongolia [D]. Master's thesis, Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2001.
- [27] 单玉鑫, 徐文欢, 李采婵, 等. 酸鱼产品中微生物群落结构与品质之间的关系研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 277-283.
SHAN Y X, XU W H, LI C C. Study on the relationship between microbial community structure and quality in sour fish products[J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(6): 277-283.
- [28] 耿瑞蝶, 王金水. 呈味氨基酸和肽对发酵食品中风味的作用[J]. 中国调味品, 2019, 44(7): 176-178, 183.
GENG R D, WANG J S. Effects of flavoring amino acids and peptides on flavor in fermented food[J]. Chinese Condiments, 2019, 44(7): 176-178, 183.
- [29] 雷文平, 周辉, 周杏荣, 等. SPME-GC-MS 结合组学技术分析发酵椰奶特征风味与风味物质相关性[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 42-47.
LEI W P, ZHOU H, ZHOU X R. SPME-GC-MS combined with omics technology to analyze the correlation between the characteristic flavor and flavor substances of fermented coconut milk [J]. Food and Machinery, 2019, 35(2): 42-47.
- [30] 张佳, 王川丕, 阮建云. GC-MS 及 GC 测定茶叶中主要游离氨基酸的方法研究[J]. 茶叶科学, 2010, 30(6): 445-452.
ZHANG J, WANG C P, RUAN J Y. Study on determination of main free amino acids in tea by GC-MS and GC[J]. Tea Science, 2010, 30(6): 445-452.
- [31] LANDAUD S, HELINCK S, BONNARME P. For-

- mation of volatile sulfur compounds and metabolism of methionine and other sulfur compounds in fermented food[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, 77(6): 1191-1205.
- [32] 刘国栋, 辛兵, 黄栋, 等. 亚油酸乙酯抑制钛颗粒诱导的炎症反应及其作用机制[J]. *中国组织工程研究*, 2016, 20(52): 7836-7843.
- LIU G D, XIN B, HUANG D. Ethyl linoleate inhibits the inflammatory response induced by titanium particles and its mechanism[J]. *China Tissue Engineering Research*, 2016, 20(52): 7836-7843.
- [33] SINK J D. Lipid - soluble components of meat flavors/odors and their biochemical origin[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1973, 50(11): 470-474.
- [34] ZHU J C, NIU Y, AO Z B. Characterization of the key aroma compounds in Laoshan green teas by application of odour activity value (OAV), gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O) and comprehensive two-dimensional gas chromatography mass spectrometry (GC xGC -qMS) [J]. *Food Chemistry*, 2021, 339: 128136.
- [35] 周琪乐, 罗诗萌, 龚凌慧, 等. 黑果枸杞风味品质的分析研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(21): 8381-8389.
- ZHOU Q L, LUO S M, GONG L H, et al. Analysis and study on flavor quality of black fruit medlar [J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2021, 12(21): 8381-8389.
- [36] 刘娜. 乳酸菌与酵母菌协同发酵米酸特征风味形成机理研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
- LIU N. Study on the mechanism of characteristic flavor formation of rice acid by CO fermentation of lactic acid bacteria and yeast[D]. Guiyang: Guizhou University, 2021.

Analysis of Volatile Flavor Compounds of Traditional Congee during Fermentation

Yang Yang¹, Wu Youna¹, Wang Yurong², Shuang Quan^{*}

¹National Characteristic Food Research and Development Laboratory,
Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018

²Xiangyang Lactic Acid Bacteria Biotechnology and Engineering Key Laboratory, Hubei University of Arts and Science,
Xiangyang 441053, Hubei)

Abstract In this study, Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to analyze the changes of flavor substances during the fermentation of congee, and its physicochemical properties and sensory quality were analyzed. The results showed that the 0-48 h pH value rapidly decreased from 4.09 to 4.13 during the fermentation process, and the acidity showed a step rising trend. The acidity increased from 4°T to 31.2°T during 0-48 h fermentation. The total sugar content increased first and then decreased, and the total sugar content increased from 85 mg/L to 93 mg/L during 0-6 h fermentation. The total sugar content decreased from 83 mg/L to 52 mg/L during fermentation 12-48 h. With the extension of fermentation time, L^* value of congee showed a decreasing trend from 57.5 to 30.55 for 0-48 h, a^* value and b^* value increased from 0.55 to 0.35 for 0-48 h, and b^* value increased from 0.35 to 5.70. A total of 16 amino acids were detected from the congee samples. The content of total amino acids increased to twice of that of 0 h after fermentation for 48 h, and the content of glutamic acid and aspartic acid was the highest. The detection results of electronic nose technology showed that W5S (nitrogen oxide compounds), W1S (methyl groups) and W1W (sulfide sensitive) sensors were more responsive to congee samples. In terms of taste, sour porridge has the strongest response signal of sour, sweet and salty taste. GC-MS analysis showed that 90 volatile compounds were detected from the sour porridge, among which ethyl acetate, eunesol, nonylaldehyde, ethyl enanthate and acetic acid were important aroma components. This study provides theoretical reference for further development of congee products.

Keywords congee; fermentation; physical and chemical indexes; sensory quality; GC-MS