

汉中地区泡菜水品质评价

陈佩¹, 翟彩宁², 李军莉¹, 党辉^{3*}

(1. 陕西开放大学 中瑞旅游与酒店管理学院, 陕西 西安 710119; 2. 陕西开放大学 信息与智能技术学院, 陕西 西安 710119;
3. 陕西师范大学 食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710119)

摘要: 该研究以29份汉中泡菜水为对象, 采用电子舌、电子鼻及高效液相色谱(HPLC)和气相色谱-质谱联用(GC-MS)等方法, 对汉中地区泡菜水的品质进行了研究。结果发现, 汉中地区泡菜水在酸味和后味A等滋味指标以及芳香类物质、烷烃类物质和硫化物等风味指标上的差异相对较大。通过聚类分析(CA)和主成分分析(PCA)发现, 汉中泡菜水按其品质可分为三个聚类, 其主要差异是由风味所导致的, 且隶属于聚类III的泡菜水样本在芳香类物质的含量上显著高于其他聚类($P < 0.05$), 后味A的强度显著较低($P < 0.05$), 其品质要优于其他泡菜水样本。

关键词: 汉中地区; 泡菜水; 滋味; 风味

中图分类号: TS261.1

文章编号: 0254-5071(2021)10-0215-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2021.10.037

引文格式: 陈佩, 翟彩宁, 李军莉, 等. 汉中地区泡菜水品质评价[J]. 中国酿造, 2021, 40(10): 215-219.

Evaluation of quality of Paocai water in Hanzhong area

CHEN Pei¹, ZHAI Caining², LI Junli¹, DANG Hui^{3*}

(1. Sino-Swiss School of Tourism & Hospitality, The Open University of Shaanxi, Xian 710119, China;

2. College of Information and Intelligent Technology, The Open University of Shaanxi, Xian 710119, China;

3. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xian 710119, China)

Abstract: In this study, using 29 samples of Paocai water in Hanzhong of Shaanxi as research materials, the quality of Paocai water in Hanzhong area were researched by means of electronic tongue, electronic nose, HPLC and GC-MS. The results showed that there were relatively large differences in the flavor indexes of Paocai water in Hanzhong area, such as sour taste and aftertaste A, aromatic substances, alkanes and sulfides. Through clustering analysis (CA) and principal component analysis (PCA), results showed that Hanzhong Paocai water could be divided into three cluster according to its quality, the main difference was caused by the flavor, and the content of aromatic substance of Paocai water samples that belonged to cluster III was significantly higher than other cluster ($P < 0.05$), the strength of the aftertaste A was significantly lower ($P < 0.05$), and its quality was better than other Paocai water samples.

Key words: Hanzhong area; Paocai water; taste; flavor

陕西泡菜又称为“浸菜”, 以当地的豇豆、辣椒和刀豆等蔬菜为主要原料, 并辅以花椒、生姜和食盐等调味料发酵而成^[1]。汉中作为陕西省下辖的地级市, 位于陕甘川三省交汇处, 形成了独特的泡菜加工工艺, 加上特殊的地理环境, 共同塑造了其特殊的产品品质。蔬菜发酵不仅能有效延长的储藏期, 同时还赋予了其特殊的风味, 对于提升蔬菜的附加值等具有重要的意义^[2]。近年来, 科研人员对泡菜的制作工艺和安全性进行了充分的研究^[3-4]。各地在制作泡菜时均偏爱使用老卤作为“引子”添加在泡菜水中, 以减少泡菜的发酵时间, 同时有助于泡菜水品质的形成^[5]。泡菜水作为泡菜发酵的重要环境, 对于泡菜品质的形成具有重要的作用。因此, 针对泡菜水品质的研究就显得十分重要。

随着仿生技术的迅速发展, 以电子舌和电子鼻等为代表的仿生设备逐渐兴起并应用于食品品质评价中^[6-8], 其可以快速准确的对食品的色香味进行数字化评价, 并不受主观因素的影响, 大大降低了对实验人员专业技能的要求。目前仿生设备在品牌区分、酒龄鉴定和安全评估方面亦有着广泛的应用^[9-10]。科研人员常将高效液相色谱(high-performance liquid chromatography, HPLC)和气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)与电子舌和电子鼻联用, 以便从多个方面完成对食品品质的评价。此技术也广泛应用于红酒、茶叶和酸奶等发酵食品的品质评价中^[11-13]。

本研究首先使用电子舌和电子鼻等仿生设备对泡菜的感官品质进行数字化分析, 继而使用HPLC和GC-MS

收稿日期: 2021-04-12

修回日期: 2021-06-21

基金项目: 陕西省第三批“青年杰出人才支持计划”; 陕西省科学技术研究发展计划项目(2017NY-182); 陕西师范大学中央高校基本科研项目(GK201703069); 陕西开放大学2020年度科研一般课题(20DB06)

作者简介: 陈佩(1983-), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品生物技术。

*通讯作者: 党辉(1979-), 男, 讲师, 博士, 研究方向为食品生物技术。

对泡菜水中的有机酸和挥发性物质进行解析,在此基础上结合多变量统计学方法对泡菜水的整体品质进行了评价,以期为汉中泡菜的品质改良和工业化生产提供数据支撑。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

泡菜水:本研究团队于2020年11月中旬在陕西省汉中市(33°04'03"N, 107°01'24"E)农户家中采集不同的泡菜水29份,编号分别为P1~P29,其中泡菜水的制作时间均在2020年9月中旬到10月中旬左右,且所有农户在制作泡菜时,均添加了“老卤”作为引子进行发酵。

异丙醇、甲醇(均为色谱纯),磷酸二氢钾、草酸、苹果酸、乳酸、乙酸、柠檬酸和琥珀酸(均为优级纯);国药集团化学试剂有限公司;阳离子溶液、阴离子溶液、参比溶液、味觉标准溶液:日本INSENT公司。

1.2 仪器与设备

PEN3电子鼻(配备10个金属电极):德国Airsense公司;SA 402B电子舌(配备2个参比电极和5个味觉传感器):日本INSENT公司;LC-20ADXR高效液相色谱仪(配备InertSustainSwift C₁₈色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)和SPD-M20A二极管阵列检测器)、GCMS-QP2020气相色谱质谱联用仪(配备SH-Rtx-Wax色谱柱(30 m×2.25 mm×0.25 μm)和电子电离(electronic ionization, ED)源):日本岛津公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品采集

农户制作泡菜时,按水:盐为4:1的比例进行泡菜盐水的制作,并添加一定量的“老卤”和香辛料搅拌均匀后装入干净的泡菜坛中备用。将新鲜的蔬菜整理和清洁后,放入泡菜坛中进行发酵。在进行泡菜水采集时,首先使用长柄汤勺在泡菜坛中搅拌1 min,继而使用无菌勺从泡菜坛中舀取300 mL泡菜水于500 mL采样瓶中。对样品瓶进行编号后,置于装有冰袋的低温采样箱中运回实验室,放入-80 °C冰箱冻存待用。

1.3.2 泡菜水各滋味指标的测定

量取50 mL泡菜水和50 mL蒸馏水于500 mL烧杯中充分搅拌,10 000 r/min离心15 min,继而进行抽滤,取滤液倒于电子舌样品杯中进行滋味指标的测定。电子舌的测试参数参照王玉荣等^[9]对米酒滋味的研究进行设置。

1.3.3 泡菜水各风味指标的测定

量取20 mL泡菜水10 000 r/min离心10 min,继而吸取15 mL上清液于电子鼻样品瓶中。将样品瓶置于60 °C恒温水浴锅中保温30 min后,于室温平衡10 min后上机进行风味指标的测定。电子鼻的测试参数参照郭壮等^[10]对安康泡菜水的研究进行设置,每份样本平行测试3次,选取48 s、49 s和50 s的响应值为测试值,并将三者的平均值用于后续分析。

1.3.4 HPLC法测定泡菜水中有机酸

准确吸取2 mL泡菜水于10 mL容量瓶中,加入0.2 mL的0.1 mol/L的磷酸溶液后用流动相(0.01 mol/L磷酸二氢钾, pH值2.90)定容,过0.22 μm针孔滤膜待用。参照郭壮等^[15-17]对米酒和猕猴桃有机酸的测定条件并进行适当优化后,对泡菜水中草酸、苹果酸、乳酸、乙酸、柠檬酸和琥珀酸的含量进行测定。具体条件:色谱柱为InertSustainSwift C₁₈(250 mm×4.6 mm, 5 μm);柱温为30 °C;流速为1.00 mL/min;进样量为20 μL;检测波长为215 nm。

1.3.5 GC-MS法测定泡菜水中挥发性物质测定

取10 mL泡菜水10 000 r/min离心10 min后,吸取9 mL上清液于20 mL GC-MS样品瓶中,使用带聚四氟乙烯的铝帽夹紧封口60 °C搅拌预热15 min,平衡15 min,进样量为1 μL,进样口解吸5 min后进入GC-MS分析^[18]。GC-MS的测试参数参照杨成聪等^[19]对黄酒中风味物质的研究进行设置。具体条件:进样口温度200 °C;进样方式为分流进样(10:1);流速为1 mL/min;起始温度30 °C保持30 min,以3 °C/min上升至45 °C,保持10 min,然后以8 °C升至130 °C不保持,以10 °C/min升至200 °C保持7 min。定性分析:参考美国国家标准与技术研究院(national institute of standards and technology, NIST)14标准质谱库,保留指数定性;定量分析:利用峰面积对样品中主要组分进行相对含量分析。

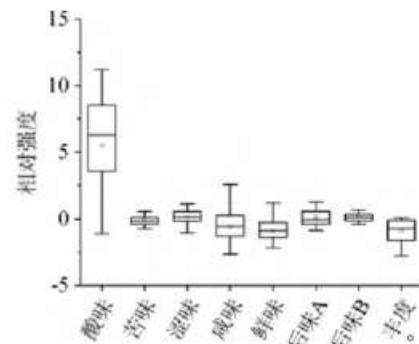
1.3.6 数据分析

本研究使用Past 3软件对泡菜水进行了聚类分析(cluster analysis, CA);使用R软件对泡菜水进行了主成分分析(principal component analysis, PCA);使用Wilcoxon test对有机酸的组间差异进行检验;基于procrustes分析对风味结构和物质之间的一致性进行了分析;使用Pearson相关性对风味结构和物质之间相关性进行了分析。所有可视化均使用R软件完成。

2 结果与分析

2.1 基于仿生设备泡菜水的品质评价

色香味作为食物品质评价最重要的指标,直接影响消费者对于食物的接受程度。本研究首先使用电子舌和电子鼻等仿生设备对泡菜水的感官指标进行了数字化评价。其泡菜水滋味指标的相对强度如图1所示。



后味A表示涩味的回味,后味B表示苦味的回味。

图1 泡菜水滋味指标相对强度的箱型图
Fig.1 Box plot of relative intensity of taste index of Paocai water

由图1可知,汉中泡菜水的滋味指标之间存在较大的组内差异,酸味、咸味、丰度和鲜味等指标的极差值均>1(相对强度>1时,一般人可由感官品鉴分辨),且酸味的组内差异最大。由此可见,酸味可能是导致泡菜水滋味品质差异的重要指标之一。这与郭壮等^[4]对安康泡菜水的研究结果与本研究基本一致,且研究结果表明,造成泡菜水中酸味差异较大的原因可能是泡菜水中乳酸菌种类差异造成的。基于电子鼻技术泡菜水风味指标的相对强度如表1所示。

表1 泡菜水风味指标的相对强度(n=29)
Table 1 Relative intensity of taste index of Paocai water (n=29)

金属电极	性能描述	平均值	中位数	最小值	最大值	变异系数/%
W1C	对芳香类物质灵敏	0.132	0.129	0.056	0.238	38.10
W5S	对氢氧化物灵敏	10.439	9.100	4.396	28.205	56.72
W3C	对氨气、芳香类物质灵敏	0.299	0.295	0.155	0.468	27.81
W6S	对氢气有选择性	1.266	1.172	1.053	1.897	16.54
W5C	对芳香类物质灵敏	0.415	0.419	0.222	0.626	27.16
W1S	对甲烷类灵敏	38.915	33.828	20.379	87.516	40.67
W1W	对有机硫化物、萜类物质灵敏	16.922	16.410	9.523	29.902	28.62
W2S	对乙醇灵敏	12.035	10.192	5.726	22.429	43.18
W2W	对有机硫化物灵敏	8.159	8.064	4.940	13.245	28.08
W3S	对烷烃类物质灵敏	1.602	1.504	1.349	2.116	14.15

由表1可知,采集自汉中的泡菜水在各风味指标之间均存在着一定差异,其中差异较大的指标分别为W5S、W2S、W1S和W1C,且其变异系数分别为56.72%、43.18%、40.67%和38.10%。由此说明,不同泡菜水中挥发性物质的差异主要集中在氢氧化物、乙醇、甲烷和芳香类物质上。其主要原因可能是由泡菜水中微生物结构的差异所导致的^[20]。

2.2 基于多元统计分析汉中地区泡菜水品质评价

汉中地区泡菜水的产品品质包括色、香和味等诸多感官指标,因此仅单独的对某一感官指标进行评价并不能从整体上反应泡菜水的整体品质,因而本研究进一步使用聚类分析、主成分分析和相关性分析等多元统计学分析对泡菜水的品质进行了分析,具体结果如图2所示。

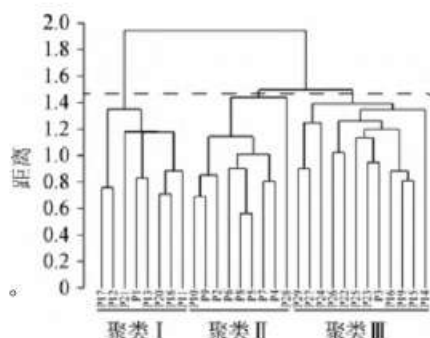
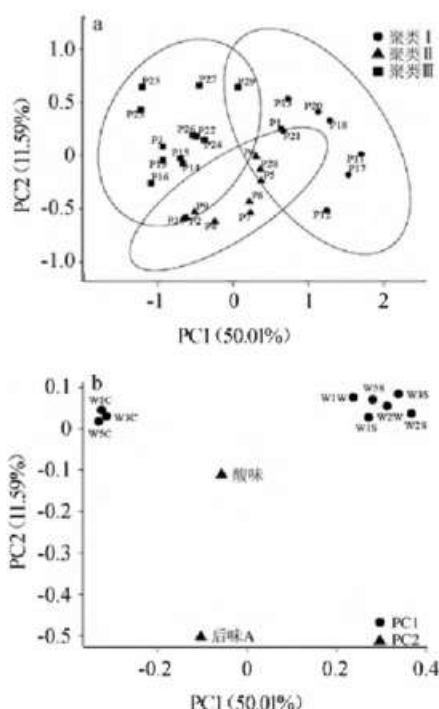


图2 基于泡菜水感官指标的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis based on sensory indexes of Paocai water

由图2可知,当距离>1.45时,所有的泡菜水样本可能分为三个聚类,其中隶属于聚类I的泡菜水样本有8个,隶属于聚类II的泡菜水样本有8个,而隶属于聚类III的泡菜水样本有13个。而结合采样信息发现,隶属于同一聚类的泡菜水样本其距离大多较为相近,而隶属于不同聚类的泡菜水样本大多相距较远。同时,本研究亦发现隶属于聚类I的泡菜水样本大多在厨房等较为潮湿的地方进行发酵,而隶属于聚类II和III的泡菜水样本的发酵温度相对较高,这有可能是导致其品质差异的原因之一。在此基础上,本研究进一步使用主成分分析对泡菜水的整体品质进行分析,其结果如图3所示。



a为因子得分图,b为因子载荷图。

图3 基于感官指标泡菜水品质的主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis of Paocai water quality based on sensory indexes

由图3a可知,隶属于同一聚类的泡菜水样本在空间上具有明显的聚类趋势,其中隶属于聚类I的泡菜水样本主要集中在空间的右上方,隶属于聚类II的泡菜水样本主要集中在空间的中下方,而隶属于聚类III的泡菜水样本则主要集中在空间的左上方。对比图2发现,泡菜水在空间的分布情况基本与聚类结果相一致,由此亦说明,泡菜水的感官品质确实具有明显的分离聚类趋势,而造成泡菜水品质差异的主要原因可能是农户家庭环境之间存在着一定的差异,且相距越远,差异越大。由图3b可知,隶属于PC1的感官指标为W1C、W3C、W5C、W1W、W2W、W1S、W2S、W3S和W5S,而隶属于PC2的感官指标为酸味和后味A。结合图3a

可知,隶属于聚类Ⅲ的泡菜水样本富含较多的芳香类物质,隶属于聚类Ⅰ的泡菜水样本富含较多的有机硫化物、烷烃和氢氧化物等,而隶属于聚类Ⅱ的泡菜水样本的酸味和后味A较强。综上所述,风味差异可能是造成泡菜水品质结构差异的重要原因之一。

2.3 泡菜水中有机和挥发性物质的分析

酸味作为泡菜水最重要的滋味指标之一,其不同泡菜水样本中存在较大的差异。因此,本研究使用HPLC对泡菜水中6种有机酸的含量进行分析,其结果如表3所示。

表3 泡菜水中6种有机酸的差异分析
Table 3 Difference analysis of 6 organic acids in Paocai water

有机酸	含量/(g·L ⁻¹)		
	聚类Ⅰ	聚类Ⅱ	聚类Ⅲ
草酸	13.36 (16.04, 0.34~20.56) ^a	16.55 (16.67, 11.90~20.65) ^a	11.19 (14.46, 0.32~24.76) ^a
苹果酸	0.49 (0.54, 0.00~1.17) ^a	0.33 (0.31, 0.00~0.68) ^a	0.24 (0.16, 0.00~1.41) ^a
乳酸	16.59 (16.89, 9.90~29.31) ^a	25.33 (24.96, 13.91~41.87) ^a	23.98 (17.45, 7.93~54.32) ^a
乙酸	0.53 (0.00, 0.00~2.34) ^a	0.83 (0.00, 0.00~4.34) ^a	1.48 (0.00, 0.00~4.55) ^a
柠檬酸	2.72 (2.96, 0.81~4.36) ^b	5.04 (4.93, 0.57~8.28) ^a	3.89 (4.09, 2.34~5.56) ^a
琥珀酸	3.29 (2.68, 1.65~5.82) ^a	4.15 (3.68, 2.52~6.63) ^a	3.73 (4.04, 1.66~6.41) ^a

注:同行字母不同,表示差异显著(P<0.05);数据表示为平均值(中位数,最小值~最大值)。下同。

由表3可知,泡菜水中的主要有机酸为乳酸和草酸,其次为柠檬酸和琥珀酸等。经Wilcoxon test发现,仅隶属于聚类Ⅰ和聚类Ⅱ的泡菜水样本在柠檬酸的含量上存在显著性差异(P<0.05)。由此可见,乳酸、草酸和柠檬酸可能是造成泡菜水酸味差异的主要原因之一。同时,本研究使用GC-MS对泡菜水中挥发性物质进行测定,泡菜水中主要挥发性物种类和相对含量如表4所示。

表4 泡菜水中主要挥发性物质的差异分析

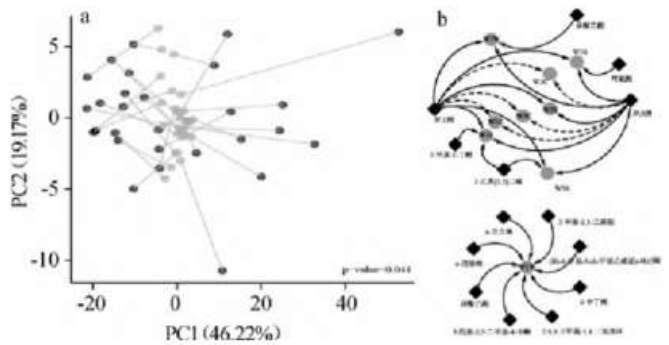
Table 4 Difference analysis of main volatile compounds in Paocai water

挥发性物质	含量/%		
	聚类Ⅰ	聚类Ⅱ	聚类Ⅲ
桉油醇	9.21 (4.21, 0.36~28.72) ^a	9.00 (5.25, 0.64~28.64) ^a	22.61 (22.99, 0.00~53.09) ^a
丙醇	4.74 (4.03, 0.71~13.91) ^a	8.00 (2.13, 0.00~26.75) ^a	10.84 (7.46, 0.72~40.85) ^a
乙酸乙酯	4.51 (0.00, 0.00~23.62) ^a	7.41 (6.34, 0.00~18.10) ^a	3.84 (2.27, 0.00~9.59) ^a
乙醇	3.05 (2.71, 0.33~6.82) ^a	4.16 (3.37, 0.56~11.20) ^a	3.44 (1.71, 0.79~9.34) ^a
茴香脑	4.08 (4.49, 0.88~6.60) ^a	3.37 (2.68, 0.09~14.08) ^a	2.52 (0.75, 0.00~10.32) ^a
异戊醇	3.81 (3.64, 0.00~10.73) ^a	2.22 (2.05, 0.00~6.30) ^a	0.61 (0.00, 0.00~4.29) ^b

续表

挥发性物质	含量/%		
	聚类Ⅰ	聚类Ⅱ	聚类Ⅲ
D-柠檬酸	0.51 (0.19, 0.00~2.09) ^a	0.88 (0.49, 0.00~2.42) ^a	1.87 (0.00, 0.00~17.25) ^a
异丁醇	1.67 (1.72, 0.00~4.62) ^a	1.31 (1.42, 0.00~2.69) ^a	0.40 (0.00, 0.00~2.34) ^b

由表4可知,泡菜水中的主要挥发性物质为桉油醇、丙醇和乙酸乙酯等。经Wilcoxon test发现,隶属于聚类Ⅲ的泡菜水样本在异戊醇和异丁醇的相对含量上显著低于隶属于其他聚类的泡菜水(P<0.05)。由此可见,泡菜水的香味可能是由乙酸乙酯贡献的,且异戊醇和异丁醇可能是导致泡菜水的风味存在差异的重要挥发性物质之一。同时,本研究对风味物质与风味之间的关系进行了解析,其结果如图4所示。



a表示Procrustes分析,b表示相关性分析;实线表示正相关,虚线表示负相关。

图4 挥发性物质和风味指标的相关性分析

Fig. 4 Correlation analysis of volatile substances and flavor indexes

本研究使用Procrustes分析对风味结构和物质之间的一致性进行了分析,结果发现,泡菜水中的挥发性物质和风味指标之间具有显著的一致性(P=0.041)。由此说明,泡菜水中挥发性物质可能对泡菜水的风味品质造成较大影响。由图4b可知,9个风味指标与14个挥发性物质之间存在显著相关(|R|>0.5, P<0.05)。值得注意的是,8个挥发性物质与W1W呈现显著正相关,W1C、W3C和W5C均与异丁醇和异戊醇之间存在显著负相关(|R|>0.5, P<0.05)。由此亦说明,电子鼻和GC-MS两种技术的结果可以相互验证,且电子鼻的传感器和具体的风味物质进行有效的关联,为简化泡菜水的品质评价提供帮助。

乳酸菌作为一类能发酵碳水化合物并产生乳酸的细菌,对于泡菜水的酸味具有重要的调节作用,而乳酸菌的产酸性能也直接影响着泡菜水的口感^[24]。研究显示,部分乳酸菌具有从氨基酸中产生芳香化化合物的能力,从而赋予泡菜水特殊的风味^[22-26]。郭壮等^[25]关于泡菜水品质和细菌类群的关联性研究也证实,泡菜水中的乳酸菌种类和含量

对于其感官品质具有重要的影响。

3 结论

本研究以29份汉中泡菜水为对象,采用仿生设备和分析设备相结合的方法,对泡菜水的品质进行了研究。结果发现汉中地区泡菜水在酸味和后味A等滋味指标和芳香类物质、烷烃类物质和硫化物等风味指标上的差异相对较大。本研究亦发现,汉中泡菜水按其品质可分为三个聚类,且其主要差异是由风味所导致的。且隶属于聚类Ⅲ的泡菜水样本在芳香类物质的含量上显著高于其他聚类,且其后味A的强度较低,因而其品质要优于其他泡菜水样本。

参考文献:

- [1] 吕嘉彬,晁倩文,刘秉坤,等.传统老坛自然发酵泡菜中真菌群落结构多样性分析[J].陕西科技大学学报,2019,37(6):53-59.
- [2] ZHANG Q, CHEN G, SHEN W, et al. Microbial safety and sensory quality of instant low-salt Chinese paocai[J]. *Food Control*, 2016, 59(1): 575-580.
- [3] WANG D, CHEN G, TANG Y, et al. Effects of temperature on paocai bacterial succession revealed by culture-dependent and culture-independent methods[J]. *Int J Food Microbiol*, 2020, 317(3): 108463.
- [4] WANG Z, SHAO Y. Effects of microbial diversity on nitrite concentration in pao cai, a naturally fermented cabbage product from China[J]. *Food Microbiol*, 2018, 72(6): 185-192.
- [5] LIANG H, YIN L, ZHANG Y, et al. Dynamics and diversity of a microbial community during the fermentation of industrialized Qingcai paocai, a traditional Chinese fermented vegetable food, as assessed by Illumina MiSeq sequencing, DGGE and qPCR assay[J]. *Ann Microbiol*, 2018, 68(2): 111-122.
- [6] JIANG H, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Application of electronic tongue for fresh foods quality evaluation: A review[J]. *Food Rev Int*, 2018, 34(8): 746-769.
- [7] WOJNOWSKI W, MAJCHRZAK T, DYMERSKI T, et al. Portable electronic nose based on electrochemical sensors for food quality assessment[J]. *Sensors*, 2017, 17(12): 2715.
- [8] GOÑI SM, SALVADORI VO. Color measurement: comparison of colorimeter vs. computer vision system[J]. *J Food Measur Charact*, 2017, 11(2): 538-547.
- [9] PENG Q, TIAN R, CHEN F, et al. Discrimination of producing area of Chinese Tongshan kaoliang spirit using electronic nose sensing characteristics combined with the chemometrics methods[J]. *Food Chem*, 2015, 178(7): 301-305.
- [10] 徐晚秀,李臻峰,张振,等.基于电子鼻的中国白酒酒龄检测[J].食品与发酵工业,2016,42(2):144-149.
- [11] BERNA A Z, TROWELL S, CYNKAR W, et al. Comparison of metal oxide-based electronic nose and mass spectrometry-based electronic nose for the prediction of red wine spoilage[J]. *J Agr Food Chem*, 2008, 56(9): 3238-3244.
- [12] CHEN Q, ZHAO J, CHEN Z, et al. Discrimination of green tea quality using the electronic nose technique and the human panel test, comparison of linear and nonlinear classification tools[J]. *Sensor Actu B*, 2011, 159(1): 294-300.
- [13] HAN Q H, LIU D D, WANG S Q, et al. Product quality assessment of brown yogurt[J]. *China Dairy Ind*, 2018, 46(8): 51-54.
- [14] 王玉荣,张俊英,潘婷,等.籼米米酒和糯米米酒品质的评价[J].食品与发酵工业,2017,43(1):186-191.
- [15] 郭壮,吴璞颖,赵楠,等.泡菜水品质和细菌类群的关联性[J].食品与发酵工业,2020,46(23):47-51.
- [16] 倪慧,李华佳,李可,等.高效液相色谱法测定猕猴桃酒中4种有机酸含量[J].食品研究与开发,2019,40(12):205-211.
- [17] 杨成聪,沈馨,马雪伟,等.高效液相色谱法测定米酒中有机酸的含量[J].食品研究与开发,2018,39(10):116-123.
- [18] 鲍忠定,孙培龙,许荣年.吹扫捕集与气相色谱-质谱联用测定不同酒龄绍兴酒中挥发性醇酯类化合物[J].酿酒科技,2008(9):104-107.
- [19] 杨成聪,刘丹丹,葛东颖,等.基于气相色谱-质谱联用技术结合电子鼻评价浸米时间对黄酒风味品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(8):265-270.
- [20] CHOI Y J, YONG S, LEE M J, et al. Changes in volatile and non-volatile compounds of model kimchi through fermentation by lactic acid bacteria[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2019, 105(5): 118-126.
- [21] XIAO Y, XIONG T, PENG Z, et al. Correlation between microbiota and flavours in fermentation of Chinese Sichuan Paocai[J]. *Food Res Int*, 2018, 114(12): 123-132.
- [22] YANG Z, LUO F, ZHONG K, et al. Effect of *Bacillus subtilis* Y61 inoculation on bacterial community and metabolic profile of Sichuan paocai fermentation[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 137(2): 110393.
- [23] ASHAOLU T J, REALE A. A holistic review on Euro-Asian lactic acid bacteria fermented cereals and vegetables[J]. *Microorganisms*, 2020, 8(8): 1176.
- [24] LUO Y, LIU Y, REN T, et al. Sichuan paocai fermented by mixed-starter culture of lactic acid bacteria[J]. *Food Sci Nutr*, 2020, 8(10): 5402-5409.
- [25] LIANG H, ZHANG A, WU Z, et al. Microbial community characteristics in industrial matured Chinese paocai, a fermented vegetable food, from different factories[J]. *Food Sci Technol Res*, 2016, 22(5): 595-604.