

泡藠头中挥发性风味物质分析

杨定宽, 季香青, 曾 承, 王玉超, 辛 晶, 李晓磊*, 李 丹*

(长春大学农产品加工吉林省教育厅重点实验室, 长春 130022)

摘 要: **目的** 检测分析泡藠头中的挥发性风味物质。**方法** 采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法检测泡藠头中的挥发性物质, 以面积归一化法计算各类物质的含量。**结果** 检出 34 种风味物质: 含硫化合物 6 种, 醇类物质 4 种, 酸类物质 2 种, 酯类物质 6 种, 烃类物质 9 种, 醛类物质 3 种, 酮类物质 3 种, 其他物质 1 种。面积归一化法定量结果显示含硫化合物占 14.81%, 醇类物质占 12.46%, 酸类物质占 12.34%, 酯类物质占 2.03%, 烃类物质占 11.79%, 醛类物质占 1.04%, 酮类物质占 0.86%, 其他物质占 0.19%。**结论** 泡藠头中含硫化合物、醇类、酸类和烃类物质含量较高, 酯类、醛类和酮类物质含量较少。

关键词: 泡藠头; 固相微萃取; 气相色谱质谱联用法; 挥发性风味物质

Analysis of volatile flavor substances in *Allium chinensis*

YANG Ding-Kuan, JI Xiang-Qing, ZENG-Cheng, WANG Yu-Chao, XIN Jing, LI Xiao-Lei*, LI Dan*

(Changchun University, Key Laboratory of Education Department of Jilin Province for Agricultural Products Processing, Changchun 130022, China)

ABSTRACT: Objective To detect and analyze volatile flavor substances in *Allium chinensis*. **Methods** The volatile flavor substances in *Allium chinensis* were detected by headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry. The area normalization method was used to calculate the contents of various substances. **Results** Thirty-four kinds of flavor compounds were identified, including 6 kinds of sulfur compounds, 4 kinds of alcohols, 2 kinds of acids, 6 kinds of esters, 9 kinds of hydrocarbons, 3 kinds of aldehydes, 3 kinds of ketones and 1 kinds of other substance. The quantitative results obtained by area normalization method were 14.81% of sulfur compounds, 12.46% of alcohols, 12.34% of acids, 2.03% of esters, 11.79% of hydrocarbons, 1.04% of aldehydes, 0.86% of ketones and 0.19% of other substances. **Conclusion** The contents of sulfur compounds, alcohols, acids and hydrocarbons in *Allium chinensis* are high, and the contents of esters, aldehydes and ketones are low.

基金项目: 吉林省科技厅国际科技合作计划项目(20190701075GH)、吉林省发改委创新能力建设资金项目(2020C036-7)、吉林省教育厅“十三五”科学研究规划项目(JJKH20200578KJ)、长春大学“长大学者攀登计划”项目(ZKP202006、ZKP202016)

Fund: Supported by the International Science and Technology Cooperation Program of Jilin Provincial Department of Science and Technology (20190701075GH), Innovation Capability Construction Fund of Jilin Provincial Development and Reform Commission (2020C036-7), "Thirteenth Five-Year" Scientific Research Planning Project of Jilin Provincial Department of Education (JJKH20200578KJ), and Changchun University "Growing Up Scholar Climbing Program" (ZKP202006, ZKP202016)

*通信作者: 李晓磊, 教授, 主要研究方向为食品发酵技术。E-mail: xiaolei97@163.com

李丹, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。E-mail: drlidan@sina.com

*Corresponding author: LI Xiao-Lei, Professor, Changchun University, No. 6543, Weixing Road, Changchun 130022, China. E-mail: xiaolei97@163.com

LI Dan, Professor, Changchun University, No. 6543, Weixing Road, Changchun 130022, China. E-mail: drlidan@sina.com

KEY WORDS: *Allium chinensis*; headspace solid phase micro extraction; gas chromatography-mass spectrometry; volatile flavor substances

0 引言

藁头又称莽头和薤等, 是百合科的多年生宿根性草本植物。藁头适应性较强, 多生于耕地杂草中及山地较干燥处, 主要分布于我国的江西、湖北、湖南、福建、贵州、云南等地。现代科学研究表明: 藁头香辛嫩爽, 色白晶莹, 富含蛋白质和人体所需的多种矿物质、维生素等, 具有开胃、祛腥、健胃、顺气等作用, 可以烹制出各种美味佳肴^[1], 且安全、无毒, 在医药研究和生产领域具有极大的药用价值和开发前景^[2]。

气相色谱-质谱联用法被广泛运用到挥发性物质的分析中。常采用同时蒸馏萃取法、减压蒸馏法、顶空吸附法、固相微萃取法、超临界流体萃取法^[3-7]、溶剂辅助萃取蒸馏法及有机溶剂萃取法等提取。其中, 固相微萃取技术是加拿大学者于 1990 年提出的一种新型样本处理技术, 检测人员以石英纤维表面涂层为核心原料, 对检测和提取样本进行萃取操作, 整个过程操作简单, 经济成本较低, 但是整体效率却比较高^[8], 此方法有较高的灵敏性、准确性, 而且消耗的样品数量少, 非常快速的特点^[9]。顶空固相微萃取技术是以固相萃取为基础而发展起来的一项新型的样品预处理技术^[10], 是 20 世纪 90 年代出现的样品前处理方法, 操作简单方便、测试快、费用低。该方法与气相色谱-质谱法联用, 可以快速分析物质中挥发性成分^[11]。特点是将萃取、浓缩合二为一, 操作简便, 便于实现样品在线富集和捕集, 较好地避免了离线溶剂提取和浓缩的烦琐操作, 广泛应用于挥发性成分的鉴定^[12]。顶空固相微萃取法根据相似相溶原理, 将吸附涂层暴露于样品上方, 利用加热等方式使样品中的挥发性物质得到分离, 并在涂层上富集, 以供定性及定量检测, 能直接和气相或液相色谱仪联用, 被广泛应用于食品及相关行业产品的香气测定及品质鉴定等方面^[13]。

目前, 国内外对于泡藁头的挥发性物质研究有限, 仅吴琦等^[14]通过对藁头挥发油的工艺优化分析了其主要成分, 藁头挥发性物质检测还未见报道。本研究采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用的方法, 对泡藁头中的挥发性物质进行测定与分析, 旨在对泡藁头中挥发性物质的进一步研究提供依据, 同时也对泡藁头的制作与生产提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

泡藁头采摘于四川省青川县; 氯化钠(分析纯, 上海 Aladdin 试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

顶空进样瓶(15 mL)、50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取纤维(美国 Supelco 公司); QP2010 Ultra 气相色谱-质谱联用仪(日本 Shimadzu 公司); DB-225MS 毛细管色谱柱: (60 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm)(美国 Agilent 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 泡藁头待测样的制备

准确称取 1.0 g, 装于 15 mL 顶空瓶, 取 3 mL 饱和食盐水加入顶空瓶中, 混匀, 待测。

1.3.2 挥发性风味物质的提取

将顶空瓶置于磁力搅拌器上加热 30 min, 再插入萃取头于 50 $^{\circ}\text{C}$ 恒温富集 30 min, 之后在气相色谱仪的进样口于 220 $^{\circ}\text{C}$ 解析 2 min, 同时启动机器采集数据。

1.4 气质联用分析

1.4.1 色谱条件

载气为高纯氦气(He), 流速为 1.0 mL/min; 进样口温度为 220 $^{\circ}\text{C}$; 压力设置为 112.0 kPa; 分流比为 5:1。

程序升温: 初始温度为 40 $^{\circ}\text{C}$, 保持 3 min; 以 7 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 120 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min; 以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 155 $^{\circ}\text{C}$; 再以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 220 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min。

1.4.2 质谱条件

电子轰击(electron impact, EI)离子源; 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$; 接口温度 220 $^{\circ}\text{C}$; 溶剂延迟时间 2 min; 数据采集方式为 Scan; 检测器电压 1.18 kV; 质量扫描范围 35~500 m/z 。

2 结果与分析

应用顶空固相微萃取联合气相色谱-质谱联用法分析挥发性化合物^[15], 经气质检测后得到总离子流图, 如图 1 所示。通过国家标准技术局(national institute of standards and technology, NIST)质谱数据库检索和人工解析对检测到的峰进行定性分析, 再采用面积归一化法对采集到的峰进行定量分析(表 1)。

2.1 总离子流分析

本研究采集了 40 min 的数据, 共检出 34 种风味物质。其中, 含硫化物 6 种, 醇类物质 4 种, 酸类物质 2 种, 酯类物质 6 种, 烃类物质 9 种, 醛类物质 3 种, 酮类物质 3 种, 其他物质 1 种。采用面积归一化法进行定量分析发现, 含硫化物和醇类、烃类物质含量居多, 酯类、醛类和酮类物质含量较少。

表 1 泡 蒜 头 的 挥 发 性 风 味 物 质 测 定 结 果
Table 1 Determination results of volatile flavor substances in *Allium chinensis*

序号	化合物名称(英文)	保留时间/min	相对质量含量/%
1	二硫化碳(carbon disulfide)	5.088	7.88
2	乙醇(ethanol)	5.892	11.37
3	乙酸乙酯(ethyl acetate)	6.972	1.30
4	2-氟丙烯(2-fluoride acrylic)	7.708	0.24
5	1-甲硫基-1-丙烯(1-fluoride-1-propylene)	8.316	0.38
6	二甲基二硫(dimethyl disulfide)	10.576	1.36
7	乙酸丁酯(butyl acetate)	11.422	0.10
8	正己醛(hexanal)	12.180	0.08
9	1-正丙硫基-2-丙烯(1-n-propylthio-2-propene)	12.328	0.31
10	硫化二烯丙基(diallyl sulfide)	12.517	0.09
11	二丙基甲酮(dipropyl ketone)	13.722	0.15
12	二甲基-1-戊醇(dimethyl-1-pentanol)	13.916	0.18
13	L-乳酸乙酯(L-ethyl lactate)	14.377	0.15
14	甲基丙基二硫(methylpropyl disulfide)	15.013	3.64
15	乙烯基环戊酸酯(vinyl cyclovalerate)	16.319	0.09
16	辛醇(octanol)	17.037	0.11
17	甲氧基醋酸-3-十三基酯(methoxyacetic acid-3-tridecyl ester)	17.401	0.26
18	二甲基三硫(dimethyl trisulfide)	17.659	0.36
19	2-乙基己醇(2-ethyl hexanol)	18.980	0.80
20	二乙基二硫(diethyl disulfide)	19.842	0.85
21	壬醛(nonanal)	20.464	0.30
22	2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪(2-methoxy-3-sec-butylpyrazine)	20.665	0.19
23	苯甲醛(benzaldehyde)	20.808	0.66
24	(3E,5E)-3,5-二烯-2-庚酮[(3E,5E)-3,5-diene-2-heptanone]	20.954	0.71
25	2-乙基-1,3-二噻烷(2-ethyl-1,3-dithiane)	22.479	0.49
26	苯甲酸乙酯(ethyl benzoate)	24.560	0.13
27	1,1-二甲硫基乙烷(1,1-dimethyl thioethane)	25.067	0.15
28	二丙基三硫(dipropyltrisulfur)	26.805	0.72
29	8-乙基-4,5,6,7,9-五硫正癸烷(8-ethyl-4,5,6,7,9-pentathio-n-decane)	27.119	5.46
30	山梨酸(sorbic acid)	27.442	1.01
31	3,5-二乙基-1,2,4-三硫杂环戊烷(3,5-diethyl-1,2,4-trithioheterocyclopentane)	28.584	3.79
32	3,3-二甲硫基丙烷(3,3-dimethyl thiopropane)	31.332	0.88
33	2-己基-5-甲基-3(2h)呋喃酮[2-hexyl-5-methyl-3(2h)furanone]	34.527	1.87
34	脱氢乙酸(dehydroacetic acid)	38.170	11.33

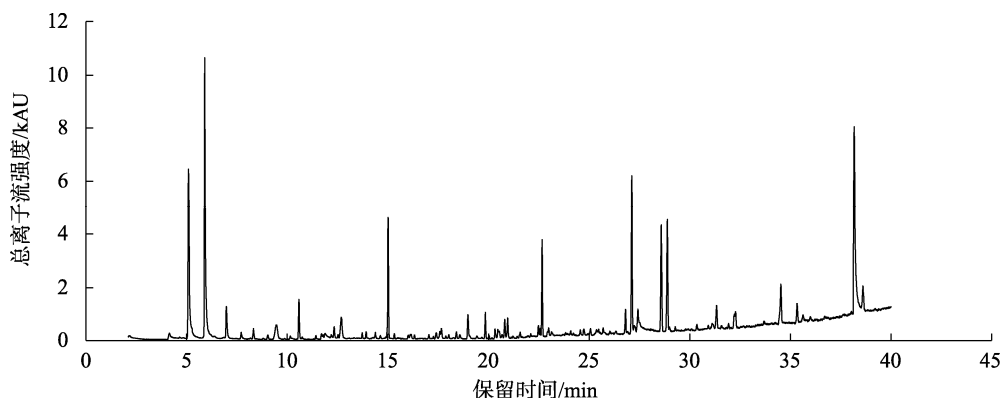


图 1 泡藠头总离子流图

Fig.1 Total ion flow chart of *Allium chinensis*

2.2 含硫化合物

定量结果显示, 泡藠头含硫化合物的含量为 14.81%。其中, 二甲基三硫占到含硫化合物的 2.4%, 虽然相对含量不高, 但由于香气阈值极低, 因此香味浓郁, 是泡菜的重要风味物质, 具有刺激的肉样和洋葱蔬菜味香气^[16]。泡藠头中含硫化合物主要为含硫的酯类及甲硫醇, 具有韭菜、大蒜的辛香味。云琳等^[17]用不同的发酵方式对萝卜泡菜的风味物质进行检测, 检出二甲基三硫化物, 但未发现有二硫化碳, 可见泡藠头中的挥发性含硫化合物与萝卜泡菜有明显差异。二硫化碳在泡藠头的含硫化合物中含量最高, 并且在浓度过高时, 可通过呼吸道及皮肤侵害人体机能, 损害人体健康。因此, 在商业化泡藠头的生产工艺中, 应尽可能控制二硫化碳的生成量。汪冬冬等^[18]采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用法, 对 6 种典型的泡菜中的挥发性成分进行了检测, 得到含硫化合物为其主要挥发性成分。这与泡藠头中挥发性风味物质一致。

2.3 醇类物质

在泡藠头中醇类物质占比达到了 12.46%, 以乙醇为主, 该物质可能是在藠头发酵过程中产生。此外, 还检测到少量二甲基-1-戊醇、辛醇、2-乙基己醇, 其在醇类物质中占比 8.74%, 由于其阈值较大, 对泡藠头香味整体贡献作用不大^[19]。商业化泡藠头挥发性成分中醇类相对含量较高, 主要原因是发酵过程中菌群结构复杂, 酵母菌的代谢旺盛积累了大量醇类物质^[20]。

2.4 酸类物质

酸类和醇类物质反应生成酯类物质, 为泡菜的香气做出一定的贡献, 有利于泡菜香味的形成。酸类是泡菜中最为重要的呈酸物质, 商业化泡藠头中的酸类物质主要以山梨酸、脱氢乙酸为主。山梨酸可以增加泡藠头的口感, 但应适量添加, 避免添加量超标。脱氢乙酸作为一种高效的防腐防霉剂, 在酸、碱条件下均有一定的抗菌作用, 尤其

对霉菌的抑制作用最强, 因此, 脱氢乙酸在一定程度上对泡藠头起到了保护作用。

2.5 烃类物质

烃类物质占 11.79%, 以烯烃和烷烃为主。这是由于在泡藠头发酵后期微生物发酵的产物种类较多, 产物之间可能会发生复杂的反应, 生成各种烯烃类物质。但由于烷烃的香气阈值较高, 所以对泡藠头的风味贡献较少。另一方面, 烯烃类的风味物质阈值较小, 且具有一类比较特殊的气味, 故对泡藠头的挥发性风味具有重要影响。

2.6 酯类物质

酸类物质与醇发生酯化反应生成酯类物质^[21], 酯类物质是发酵泡菜的主体风味, 一部分酯类可成为特有化合物, 它们对泡藠头的挥发性风味起到了一定的贡献。乙酸乙酯在泡藠头中含量最高, 带有强烈的醚似的气味, 清灵、微带果香。此外, 乙酸丁酯、L-乳酸乙酯、乙烯基环戊酸酯、甲氧基醋酸-3-十三基酯、苯甲酸乙酯均有检出, 其含量较低, 对泡藠头的风味贡献作用较乙酸乙酯更小。

2.7 醛类物质

检出的醛类物质有正己醛、壬醛和苯甲醛 3 种, 占总量的 1.04%。醛类物质的阈值较低, 能给泡菜带来清香和果香, 对风味的形成起到主要的贡献作用。正己醛天然存在于苹果、草莓、茶叶、苦橙、咖啡及 10 余种精油等中, 常用于调配苹果、橙子、浆果、西瓜等食用香精。壬醛具有玫瑰、柑橘等香气, 有强的油脂气味, 常存在于绿茶和红茶中。苯甲醛具有特殊的杏仁气味, 用于配制杏仁、樱桃、果仁等型香精。

2.8 酮类物质

检出的 3 种酮类物质分别是二丙基甲酮、(3E, 5E)-3,5-二烯-2-庚酮、2-己基-5-甲基-3(2H)呋喃酮。这些酮类物质主要是由醇类物质氧化而成, 但在发酵中后期醇类物质氧化可能受到抑制, 酮类物质的含量会越来越少。酮类物质

多伴有果香味,对泡蒜头风味的形成有一定贡献作用。

2.9 其他物质

检出的其他物质为 2-甲氧基-3-仲丁基吡嗪,占总含量的 0.19%。这种物质是用于调配咖啡、可可、土豆、青香、蘑菇香型的食用香精,其溶液具有霉香、青香、蔬菜香、坚果、胡椒、土豆样的香气。

3 结 论

本研究采用顶空固相微萃取-气质联用的方法对泡蒜头中的挥发性风味物质进行检测,共检出 34 种物质。其中,含硫化物、醇类和烃类含量较高,以二硫化碳和甲基丙基二硫为主。商业化的泡蒜头二硫化碳含量明显多于别的化合物,但因为其不纯,混有别的硫化物,所以伴有令人不愉快的烂萝卜味。在后续的生产中,可改进生产工艺,减少该风味的出现。酯类、醛类和酮类物质含量较少。

参考文献

- [1] 敖礼林, 鄢用亮, 邹春平. 特色蔬菜-蒜头的丰产优质栽培技术[J]. 科学种养, 2020, (11): 56-58.
- [2] 杨敏, 梅馨月, 廖静静, 等. 三种葱属作物挥发物和提取液对植物病原真菌和卵菌的抑菌活性[J]. 植物保护, 2013, 39(3): 36-44.
- [3] 龙立梅, 宋沙沙, 李奈, 等. 3 种名优绿茶特征香气成分的比较及种类判别分析[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 114-119.
- [4] HAN ZX, RANA MM, LIU GF, *et al.* Green tea flavour determinants and their changes over manufacturing processes [J]. Food Chem, 2016, 212: 739-748.
- [5] WANG P, MAO J, MENG X, *et al.* Changes in flavour characteristics and bacterial diversity during the traditional fermentation of Chinese rice wines from Shaoxing region [J]. Food Control, 2014, 44: 58-63.
- [6] SHEIBANI E, DUNCAN SE, KUHN DD, *et al.* SDE and SPME analysis of flavor compounds in Jin Xuan Oolong tea [J]. J Food Sci, 2016, 81(2): 348-358.
- [7] 张恺容, 解铁民. 超临界流体萃取技术及其在食品中的应用[J]. 农业科技与装备, 2020, (6): 48-49, 52.
- [8] 唐超. 固相微萃取-气相色谱质谱检测技术检测葡萄中的有机磷农药残留—评《农药化学合成基础》[J]. 化学试剂, 2020, 42(11): 1390-1391.
- [9] 朱俊彦, 李良忠, 朱晓辉, 等. 固相微萃取技术在环境监测分析中的应用进展[J]. 中国环境监测, 2019, 35(3): 8-18.
- [10] 李佳钰, 吴雨杭, 李昊原, 等. 固相微萃取技术与应用研究进展[J]. 山东化工, 2016, 45(1): 43-45.
- [11] 万娟, 关则恩, 应玲红. 顶空固相微萃取-气质联用分析优质稻谷储藏前后挥发性成分[J]. 粮食加工, 2021, 46(2): 37-40.
- [12] 程晓昆, 张亚芳, 王娅莉, 等. 顶空—固相微萃取技术在药品残留溶剂测定中的应用[J]. 当代化工研究, 2018, (5): 97-98.
- [13] 廖顺. 利用顶空固相微萃取与气质联用技术分析食品中的挥发性成分[C]. 现代食品工程与营养健康学术研讨会暨 2020 年广东省食品学会年会论文集, 2020.
- [14] 吴琦, 肖锦, 鲁雅清, 等. 蒜头挥发油提取工艺优化及其 GC-MS 分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 30-34.
- [15] 黄盛蓝, 杜木英, 周先容, 等. 发软泡菜品质及风味物质主成分分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 36-44.
- [16] 王芮东, 赵燕飞, 邢颖, 等. 萝卜泡菜自然发酵过程中挥发性香气成分变化分析[J]. 中国酿造, 2019, 38(9): 124-129.
- [17] 云琳, 毛丙永, 崔树茂, 等. 不同发酵方式对萝卜泡菜理化特性和风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13): 69-75.
- [18] 汪冬冬, 张其圣, 陈功, 等. 不同蔬菜原料发酵泡菜挥发性成分解析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 234-242.
- [19] 朱俊彦, 李良忠, 朱晓辉, 等. 固相微萃取技术在环境监测分析中的应用进展[J]. 中国环境监测, 2019, 35(3): 8-18.
- [20] ZHU JY, LI LZ, ZHU XH, *et al.* Progress in application of solid phase microextraction technology in environmental monitoring and analysis [J]. China Environ Monitor, 2019, 35(3): 8-18.
- [21] LI JY, WU YH, LI HY, *et al.* Advances in solid-phase microextraction technology and application [J]. Shandong Chem Ind, 2016, 45(1): 43-45.
- [22] WAN J, GUAN ZK, YING LH. Analysis of volatile components in high quality rice before and after storage by headspace solid-phase microextraction combined with mass spectrometry [J]. Grain Proc, 2021, 46(2): 37-40.
- [23] CHENG XK, ZHANG YF, WANG YL, *et al.* Application of headspace solid-phase microextraction technology in determination of drug residual solvents [J]. Mod Chem Res, 2018, (5): 97-98.
- [24] LIAO S. Analysis of volatile components in food by headspace solid phase microextraction combined with mass spectrometry [C]. Symposium on Modern Food Engineering and Nutrition and Health & Proceedings of 2020 Guangdong Food Society Annual Meeting, 2020.
- [25] WU Q, XIAO J, LU YQ, *et al.* Optimization of extraction process of essential oil from *Allium chinensis* and its analysis by GS-MS [J]. Food Res Dev, 2018, 39(22): 30-34.
- [26] HUANG SL, DU MY, ZHOU XR, *et al.* Principal component analysis of quality and flavor of soft pickle [J]. Food Mach, 2017, 33(12): 36-44.
- [27] WANG RD, ZHAO YF, XING Y, *et al.* Changes of volatile aroma components in radish pickle during natural fermentation [J]. China Brewery, 2019, 38(9): 124-129.
- [28] YUN L, MAO BY, CUI SM, *et al.* Effects of different fermentation methods on physicochemical properties and flavor of radish pickle [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(13): 69-75.

TANG C. Determination of organ phosphorus chemical pesticide residues

WANG DD, ZHANG QS, CHEN G, *et al.* Analysis of volatile components of fermented pickle from different vegetable materials [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(3): 234–242.

- [19] 曹东, 曹琳, 范林川, 等. 泡菜发酵过程挥发性风味成分的变化[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(3): 45–49.

CAO D, CAO L, FAN LC, *et al.* Changes of volatile flavor components in kimchi fermentation process [J]. *Grain Oils*, 2017, 30(3): 45–49.

- [20] 夏季, 方勇, 王梦梦, 等. 不同发酵处理对香菇泡菜质构及风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(20): 171–177.

XIA J, FANG Y, WANG MM, *et al.* Effects of different fermentation treatments on the texture and flavor compounds of *Lentinus edodes* kimchi [J]. *Food Sci*, 2019, 40(20): 171–177.

- [21] 黄道梅, 李咏富, 孟繁博, 等. 泡菜微生物与风味品质研究进展[J]. *中国调味品*, 2017, 42(3): 176–180.

HUANG DM, LI YF, MENG FB, *et al.* Research progress on microorganism and flavor quality of kimchi [J]. *China Condiment*, 2017, 42(3): 176–180.

(责任编辑: 王 欣 张晓寒)

作者简介



杨定宽, 硕士, 主要研究方向为发酵食品。

E-mail: dingkuan9597@163.com



李晓磊, 教授, 主要研究方向为食品发酵技术。

E-mail: xiaolei97@163.com



李 丹, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。

E-mail: drlidan@sina.com