

吹扫捕集-热脱附-气质联用法分析 竹醋蒸馏液成分及其水果采后防腐研究

宋丽,王进*,曹先爽,丁兆青,姚曦,岳永德,汤锋

国际竹藤中心 国家林业局竹藤科学与技术重点实验室,北京 100102

摘要:采用吹扫捕集-热脱附-气相色谱质谱(P&T-TD-GC-MS)法,比较分析了竹醋原液及竹醋蒸馏液的化学成分,在离体和活体条件下评价竹醋蒸馏液对植物病原真菌的抑制活性。结果表明,竹醋原液中检出挥发性成分的数量为24种,竹醋蒸馏液中检出挥发性成分的数量为26种。2种竹醋液中相对含量 $\geq 2\%$ 的共有成分为:乙酸甲酯、乙酸、糠醛、苯酚、愈创木酚。离体抑菌结果表明,竹醋原液和竹醋蒸馏液均具有明显的抑制真菌效果,竹醋蒸馏液对番茄灰霉菌、苹果炭疽菌、小麦赤霉菌和梨黑星菌的半抑制浓度(IC_{50})值(处理48 h后)分别为:18.01、16.04、15.70和11.24 mL/L。活体抑菌结果表明,接种了苹果炭疽菌和梨黑星菌的苹果和梨,经竹醋蒸馏液浸渍处理后表现出了明显的抑菌效果,防治效果分别为72.18%(苹果)和79.76%(梨)。本研究旨在为竹醋蒸馏液在果蔬防腐剂产品的研发提供基础。

关键词:竹醋液;竹醋蒸馏液;挥发性成分;抑菌活性;吹扫/捕集-热脱附-气质联用仪(P&T-TD-GC-MS)

中图分类号:R283.6;S432.4⁺4

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.11.023

Chemical Composition and *In Vitro* and *In Vivo* Antifungal Activities of Distilled Bamboo Vinegar

SONG Li, WANG Jin*, CAO Xian-shuang, DING Zhao-qing, YAO Xi, YUE Yong-de, TANG Feng

SFA Key Laboratory of Bamboo and Rattan Science and Technology, International Centre for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China

Abstract: Chemical components of bamboo vinegars were analyzed by purge and trap thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry (P&T-TD-GC-MS). A total of 24 compounds were identified in original bamboo vinegar and 26 compounds were confirmed in distilled bamboo vinegar. The major components with a relative content of more than 2% were acetic acid methyl ester, acetic acid, furfural, phenol, 2-methoxy-phenol. In the antifungal assay, the distilled bamboo vinegar exhibited a strong antifungal activity against *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium graminearum* and *Venturia nashicola* with the half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) values of 18.01, 16.04, 15.70 and 11.24 mL/L (48 h after treatment), respectively. *In vivo* antifungal property, the apples and pears inoculated with *Colletotrichum gloeosporioides* and *Venturia nashicola* respectively were treated with the distilled bamboo vinegar. The control effects were 72.18% and 79.76%, respectively. The distilled bamboo vinegar showed a good antiseptic effect on the fungi of the fruits after harvest, which can serve as a potential source of an antiseptic agent for fruit preservation.

Key words: bamboo vinegar; distilled bamboo vinegar; volatile components; antifungal activity; purge and trap thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry (P&T-TD-GC-MS)

竹醋液是竹材在热解或干馏过程中产生的烟气经冷凝收集得到的棕褐色液体,具有特殊的烟熏味,含有酸类、酮类、醇类、酚类等成分^[1-3]。研究表明,竹醋液具有抑菌^[4]、抗氧化^[5]、抗炎^[6]等活性作用。

在食品领域,竹醋液可作为熏液、果蔬保鲜剂等

使用^[7]。据报道,以竹醋液为助剂,以壳聚糖为主剂,制成纯天然的复合保鲜剂水溶液涂膜处理蕨菜表面,蕨菜基本上保持了原有风味和营养成分,无霉变^[8]。在红色甜椒的贮藏保鲜中,使用竹醋液能够减缓红色甜椒的膜脂过氧化作用,保持细胞膜的完整性,起到了保鲜的作用^[9]。脐橙在常温贮藏下,用竹醋液原液浸泡1 min,与对照相比,腐烂率降低71.95%,显示出良好的防腐保鲜效果^[10]。另外,竹醋液与咪鲜胺、戊唑醇2种化学防腐保鲜剂分别复

收稿日期:2018-03-02 接受日期:2018-04-20

基金项目:国际竹藤中心基本科研业务费专项(1632014009);“十二五”国家科研支撑计划(2012BAD23B0304)

*通信作者 Tel:86-10-84789818; E-mail:wangjin@icbr.ac.cn

配使用,均产生增效作用^[11]。竹醋液与姜黄素复配,可产生协同抗氧化作用^[12]。竹醋液具有上述防腐保鲜功效,与其化学成分密切相关^[13]。但是,在竹醋液的生产中,会产生焦油和苯并芘等对人体有害的物质,若不进行有效去除,则无法应用到食品领域。为除去竹醋液中存在的焦油等有害物质,在生产上常采用静置沉淀或蒸馏法进行加工处理,经蒸馏处理后的竹醋蒸馏液是低沸点的挥发性组分,完全杜绝了苯并芘等较高沸点的有害物的存在。但竹醋液经蒸馏后,其挥发性化学成分及其在活体条件下的水果防腐研究鲜见报道。

本研究以竹醋液为试材,利用吹扫-捕集法对竹醋原液及竹醋蒸馏液的挥发性成分进行富集,用热脱附结合气相色谱-质谱联用(TD-GC-MS)技术进行化学组分的分析比较;采用菌丝生长速率法,评价了竹醋原液和竹醋蒸馏液对不同的植物病原真菌的抑制活性,并评价了竹醋蒸馏液对苹果和梨采后防腐

效果,旨在为竹醋蒸馏液在水果采后防腐剂领域的应用提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苹果和梨子从北京市场采购。供试菌株为苹果炭疽病菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)、番茄灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)、小麦赤霉菌(*Fusarium graminearum*)和梨黑星菌(*Venturia nashicola*)均由安徽农业大学植物病理学教研室提供。

竹醋原液样品由江苏江阴中炬生物科技有限公司提供(自动化机械窑生产);竹醋蒸馏液是在本实验室内对竹醋原液进行蒸馏处理后收集的蒸馏液,设备条件为负压60 mBar,加温60 ℃。供试竹醋液和竹醋蒸馏液的基本理化性质 pH,密度和沉淀焦油含量的测定参照文献^[14,15]的方法,结果见表1。

表1 供试竹醋液的基本理化性质

Table 1 Basic properties of the tested bamboo vinegar

| 编号 No. | 样品 Sample | pH | 颜色 Colour | 密度 Density (g/mL) | 沉淀焦油含量 Precipitation tar content (%) |
|-----------|-------------------------|-----|-------------------|-------------------------|--|
| 1 | 竹醋原液 Original vinegar | 2.9 | 红褐色 Reddish brown | 1.009 | 0.5 |
| 2 | 竹醋蒸馏液 Distilled vinegar | 2.6 | 无色 Colourless | 1.002 | 0 |

1.2 仪器与设备

Turbo Matrix 650 ATD 全自动热脱附仪(PE公司,美国);Tenax TA 吸附管(Camsco公司,美国);吹扫捕集瓶(自制);Agilent 6890N/5973i 气相色谱-质谱联用仪(Agilent公司,美国);Delta 320 pH计(Mettler-Toledo公司,瑞士);BP221S 电子天平(Sartorius公司,德国)。

1.3 方法

1.3.1 竹醋液成分的吹扫捕集处理

分别取竹醋原液及竹醋蒸馏液10 mL置于捕集瓶中,在室温条件下,一端通入高纯氮气(99.999%),流速设定100 mL/min,另一端接上吸附管(含Tenax TA吸附剂,老化后),采样5 min,立即取下吸附管,并在两端盖上防护帽,于干燥器内密封保存,测试前更换成可插拔的防护帽。

热脱附仪器条件:干吹吸附管1 min;脱附温度(一级热脱附温度)260 ℃,脱附时间10 min;脱附气体流量25 mL/min;冷阱温度设为-30 ℃,热脱附过程中,冷阱以40 ℃/s升温至300 ℃,进样时间设定

0.5 min;进口分流设为90 mL/min;高纯氮气为载气流速1 mL/min,传输线温度为255 ℃,阀温度为250 ℃,循环时间为70 min。

1.3.2 GC-MS 分析条件

色谱柱:J&W DB-5ms 石英毛细柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);程序升温:起始温度40 ℃,保持1 min,以2 ℃/min升至120 ℃,再以5 ℃/min升至170 ℃;载气(He)流速0.5 mL/min。

质谱条件:电子轰击离子源;电子能量70 eV;传输线温度280 ℃;离子源温度230 ℃;四级杆温度150 ℃;质量扫描范围m/z 25~550。

1.3.3 不同竹醋液的离体抑菌活性

采用菌丝生长速率法^[16],选择4种病原真菌为供试菌种,分别为苹果炭疽病菌(*C. gloeosporioides*)、番茄灰霉病菌(*B. cinerea*)、小麦赤霉菌(*F. graminearum*)和梨黑星菌(*V. nashicola*)。竹醋原液和竹醋蒸馏液分别用水稀释30~250倍作为供试样品,未加竹醋液的无菌水作为对照,农药标准品味鲜

胺(98.5%)为阳性对照,每个处理重复3次,把供试菌种的培养基用打孔器制成菌饼(直径7 mm),使菌丝面朝下,接种于马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基平板中心,封口膜封口,置于28℃培养箱内,培养48 h和72 h后测量菌落直径(mm)。

1.3.4 采后水果的活体抑菌实验

分别以苹果炭疽菌(*C. gloeosporioides*)、梨黑星菌(*V. nashicola*)为供试菌种,制备菌丝悬浮液。参照文献^[17]的处理方法,挑选完好、成熟度一致的采后水果(苹果、梨子)经质量分数为75%酒精溶液浸泡2 min,用蒸馏水清洗3遍,在无菌条件下自然风干,用消毒的接种针在果实赤道部打1孔(直径1 mm,深3 mm)。每孔用接种针蘸取病原真菌菌丝后置于竹醋蒸馏液中浸渍1 min,捞出后晾干,置于28℃培养箱中培养;以无菌水处理为空白对照,农药标准品咪鲜胺为阳性对照,7 d后观察腐烂情况。每

10个果实为1个处理,重复3次。统计果实的病斑直径、病情指数和防治效果。

1.4 结果的计算

1.4.1 真菌生长抑制率公式

$$\text{菌丝生长抑制率}(\%) = \frac{(d_c - d_0) - (d_t - d_0)}{d_c - d_0} \times 100$$

式中: d_c 为空白对照样品菌落的平均直径/mm; d_0 为供试菌饼的直径/mm; d_t 为处理样品抑菌后菌落的平均直径/mm。

差异显著性分析使用统计软件 SPSS (Statistical Product and Service Solutions) 在 $P = 0.05$ 时用单因素方差分析和邓肯显著性检验,抑菌活性的半抑制浓度 IC_{50} 和 95% 置信区间根据概率回归分析计算。

1.4.2 病果分级标准:

病果分级标准见表2。

表2 病果分级标准

Table 2 The standard levels of disease fruits

| 级别 Level | 病斑直径 d Lesion diameter (cm) | 级别 Level | 病斑直径 d Lesion diameter (cm) |
|-------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 0 | 1 | $d \leq 0.5$ |
| 2 | $0.5 < d \leq 1$ | 3 | $1 < d \leq 1.5$ |
| 4 | $1.5 < d \leq 2$ | 5 | $2 < d \leq 2.5$ |
| 6 | $2.5 < d \leq 3$ | 7 | $3 < d \leq 3.5$ |
| 8 | $3.5 < d \leq 4$ | 9 | $d > 4$ |

1.4.3 病情指数公式

$$\text{病情指数}(\%) = \frac{\sum \text{各级病果数} \times \text{该级代表数}}{\text{各级供试总果数} \times \text{最高级代表数}} \times 100$$

1.4.4 防治效果公式

$$\text{防治效果}(\%) = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 P&T-TD-GC-MS 分析结果

以 P&T-TD-GC-MS 分析竹醋原液及竹醋蒸馏液化学成分,采用 NIST02 标准质谱图库进行数据检索(匹配度大于 80%),并用峰面积归一化法计算竹醋液样品中各组分的相对含量,结果见表3。

由表3可以看出,从竹醋液中共鉴定出31种主要成分,包括酯类、酚类、酸类、酮类和醛类等。其中,竹醋原液鉴定出24种,根据面积归一化法计算,

检出峰的面积占总峰面积的78.94%,其中,相对含量在2%以上的成分为:乙酸甲酯(46.80%)、乙酸(5.84%)、糠醛(8.72%)、苯酚(2.81%)、愈创木酚(3.51%)。竹醋蒸馏液共鉴定出26种成分,占总检出峰面积的91.47%,相对含量在2%以上的成分为乙酸甲酯(35.22%)、丙酸甲酯(14.59%)、乙酸(4.62%)、环戊酮(2.13%)、糠醛(14.36%)、1-(2-呋喃)-1-乙酮(2.12%)、苯酚(2.59%)和愈创木酚(6.36%)。两种竹醋液的共有成分有19种,共有成分主要为酚类化合物(7种)。

2.2 竹醋液抑菌活性比较

采用菌丝生长速率法,对供试的竹醋原液及竹醋蒸馏液进行抑菌活性评价,阳性对照药为咪鲜胺,以半抑制浓度(IC_{50})值为评价指标。由表4看出,竹醋原液和竹醋蒸馏液均表现出抑菌活性,其中,竹醋原液对苹果炭疽菌、番茄灰霉菌和小麦赤霉菌的

表3 竹醋原液和竹醋蒸馏液的挥发性成分分析结果

Table 3 Chemical compounds of original bamboo vinegar and distilled bamboo vinegar

| 保留时间 Retention time (min) | 化合物 Compound | 分子式 Formula | 相对含量 Relative contents (%) | |
|---------------------------------|--|---|----------------------------------|----------------------------|
| | | | 竹醋原液 Original vinegar | 竹醋蒸馏液 Distilled vinegar |
| 1.98 | 乙酸甲酯 Acetic acid, methyl ester | C ₃ H ₆ O ₂ | 46.80 | 35.22 |
| 2.59 | 丙酸甲酯 Methyl propionate | C ₄ H ₈ O ₂ | - * | 14.59 |
| 2.70 | 乙酸 Acetic acid | C ₂ H ₄ O ₂ | 5.84 | 4.62 |
| 3.82 | 丁酸甲酯 Butanoic acid, methyl ester | C ₅ H ₁₀ O ₂ | 1.64 | 1.87 |
| 4.40 | 2-甲氧基四氢呋喃 2-Methoxytetrahydrofuran | C ₅ H ₁₀ O ₂ | 0.74 | - |
| 4.80 | 1-羟基-2-丁酮 1-Hydroxy-2-butanone | C ₄ H ₈ O ₂ | 1.03 | - |
| 5.44 | 环戊酮 Cyclopentanone | C ₅ H ₈ O | 1.23 | 2.13 |
| 6.22 | 3-糠醛 3-Furaldehyde | C ₅ H ₄ O ₂ | 0.08 | 0.07 |
| 6.56 | 戊酸甲酯 Pentanoic acid, methyl ester | C ₆ H ₁₂ O ₂ | 0.19 | 0.24 |
| 6.91 | 糠醛 Furfural | C ₅ H ₄ O ₂ | 8.72 | 14.36 |
| 7.19 | 2-甲基环戊酮 Cyclopentanone, 2-methyl- | C ₆ H ₁₀ O | 0.37 | 0.16 |
| 9.94 | 甲基环戊烯醇酮 2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl- | C ₆ H ₈ O | 1.35 | 1.88 |
| 10.21 | 1-(2-呋喃)-1-乙酮 Ethanone, 1-(2-furanyl)- | C ₆ H ₆ O ₂ | 1.84 | 2.12 |
| 11.32 | 2-环己烯-1-酮 2-Cyclohexen-1-one | C ₆ H ₈ O | 0.08 | 0.05 |
| 11.65 | 1,2-二甲基环己烯 Cyclohexene, 1,2-dimethyl- | C ₈ H ₁₄ | 0.16 | - |
| 11.66 | 3,4-二甲基-2-环戊烯酮 2-Cyclopenten-1-one, 3,4-dimethyl- | C ₇ H ₁₀ O | - | 0.18 |
| 13.08 | 5-甲基呋喃醛 2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl- | C ₆ H ₆ O ₂ | 0.50 | 0.81 |
| 13.89 | 2-糠酸甲酯 Methyl 2-furoate | C ₆ H ₆ O ₃ | 0.52 | - |
| 14.54 | 苯酚 Phenol | C ₆ H ₆ O | 2.81 | 2.59 |
| 15.20 | 2,3-二甲基-2-环戊烯-1-酮 2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl- | C ₇ H ₁₀ O | - | 0.61 |
| 15.92 | 2-丙酰呋喃 1-Propanone, 1-(2-furanyl)- | C ₇ H ₈ O ₂ | - | 0.20 |
| 16.99 | 5-乙基-2-糠醛 5-Ethyl-2-furaldehyde | C ₇ H ₈ O ₂ | - | 0.03 |
| 18.18 | 2-羟基苯甲醛 Benzaldehyde, 2-hydroxy- | C ₇ H ₆ O ₂ | 0.05 | - |
| 19.16 | 邻甲酚 Phenol, 2-methyl- | C ₇ H ₈ O | 0.85 | 1.50 |
| 19.68 | 苯乙酮 Acetophenone | C ₈ H ₈ O | - | 0.04 |
| 21.08 | 愈创木酚 Phenol, 2-methoxy- | C ₇ H ₈ O ₂ | 3.51 | 6.36 |
| 22.59 | 2,5-二甲基苯酚 Phenol, 2,5-dimethyl- | C ₈ H ₁₀ O | 0.09 | 0.35 |
| 24.85 | 2-乙基苯酚 Phenol, 2-ethyl- | C ₈ H ₁₀ O | 0.04 | 0.08 |
| 27.22 | 2-甲氧基-3-甲基苯酚 Phenol, 2-methoxy-3-methyl- | C ₈ H ₁₀ O ₂ | - | 0.38 |
| 28.16 | 2-甲氧基-4-甲基苯酚 Phenol, 2-methoxy-4-methyl- | C ₈ H ₁₀ O ₂ | 0.46 | 0.64 |
| 33.87 | 乙基-2-甲氧基苯酚 Phenol, 4-ethyl-2-methoxy- | C ₉ H ₁₂ O ₂ | 0.04 | 0.39 |
| | 合计 Total | | 78.94 | 91.47 |

注: * -未检出或不存在。

Note: * -Not detected or not present.

IC₅₀值(处理48 h后)分别为7.84、9.39、6.83 mL/L,竹醋蒸馏液对苹果炭疽菌、番茄灰霉菌、小麦赤霉菌和梨黑星菌的IC₅₀值(处理48 h后)分别为18.

01、16.04、15.70、11.24 mL/L。以苹果炭疽菌为例,菌丝抑制率与竹醋液的浓度呈现出明显的浓度剂量效应关系(图1)。

表4 不同竹醋液和咪鲜胺对4种真菌的半抑制浓度值及置信区间

Table 4 Antifungal activity of different bamboo vinegars and prochloraz against four pathogens

| 样品 Sample | IC ₅₀ (mL/L) (95% 置信区间 CI) | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | 苹果炭疽菌 <i>C. gloeosporioides</i> | | 番茄灰霉菌 <i>B. cinerea</i> | | 小麦赤霉菌 <i>F. graminearum</i> | | 梨黑星菌 <i>V. nashicola</i> | |
| | 48 h | 72 h | 48 h | 72 h | 48 h | 72 h | 48 h | 72 h |
| 竹醋原液 Original vinegar | 7.84 7.17 ~ 8.88 | 10.28 8.89 ~ 14.05 | 9.39 8.88 ~ 10.02 | 11.75 10.84 ~ 13.15 | 6.83 6.45 ~ 7.34 | 6.54 6.16 ~ 7.04 | - | - |
| 竹醋蒸馏液 Distilled vinegar | 18.01 14.76 ~ 25.86 | 17.80 14.61 ~ 25.53 | 16.04 14.11 ~ 19.30 | 16.54 14.47 ~ 20.14 | 15.70 13.25 ~ 20.88 | 17.57 14.97 ~ 22.70 | 11.24 11.68 ~ 12.84 | 11.26 10.67 ~ 11.83 |
| 咪鲜胺 Prochloraz * | 0.03 0.02 ~ 0.05 | - * * - | 0.18 0.09 ~ 0.26 | - - | 0.19 0.13 ~ 0.36 | - - | 0.08 0.02 ~ 0.15 | - - |

注: * 咪鲜胺; 浓度单位为 mg/L; * * -: 未处理。

Note: * Prochloraz; Concentration unit is mg/L; * * -: without treatment.

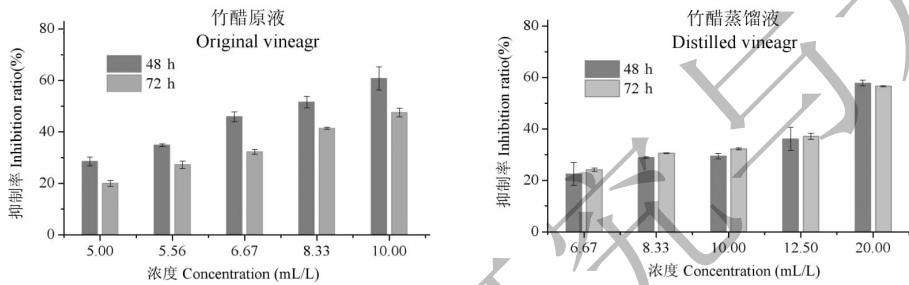


图1 不同浓度的竹醋原液和竹醋蒸馏液对苹果炭疽菌的抑制率(处理48 h和72 h)

Fig. 1 Inhibition rates of two bamboo vinegars on *C. gloeosporioides* at different concentrations (48 h and 72 h treatment)

2.3 竹醋蒸馏液对鲜果损伤接种的发病抑制效果

选用竹醋蒸馏液用于采后苹果、梨子的活体抑菌实验。如表5所示,苹果经苹果炭疽菌接种后贮藏7天,空白对照组的病情指数为75.66%;经竹醋蒸馏液及250 mg/L咪鲜胺溶液处理后的苹果,病情指数分别为20.00%、18.33%,竹醋蒸馏液防治效果明显,且均与阳性对照咪鲜胺处理组不存在显著

差异($P \leq 0.05$)。经梨黑星菌接种后,阳性对照咪鲜胺药剂处理后梨子的病情指数为15.08%,防治效果为81.47%;经竹醋蒸馏液处理后梨子的病情指数为16.67%,防治效果高达79.76%,显示出竹醋蒸馏液能够有效防治供试病原真菌对采后苹果和梨的侵染,为其应用于水果贮藏保鲜提供了理论基础及依据。

表5 竹醋蒸馏液对采后水果防腐活体实验的结果

Table 5 Results of the *in vivo* antifungal property of distilled bamboo vinegar on the postharvest apples and pears

| 供试病原菌 Test strains | 试验组 Test groups | 病情指数 Disease index (%) | 防治效果 Control effect (%) |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 苹果炭疽菌 <i>C. gloeosporioides</i> | 竹醋蒸馏液 Distilled vinegar | 20.00 b | 72.18 |
| | 咪鲜胺 Prochloraz 250 mg/L | 18.33 b | 76.06 |
| | 对照 CK | 75.66 a | - |
| 梨黑星菌 <i>V. nashicola</i> | 竹醋蒸馏液 Distilled vinegar | 16.67 b | 79.76 |
| | 咪鲜胺 Prochloraz 250 mg/L | 15.08 b | 81.47 |
| | 对照 CK | 81.47 a | - |

注: 同列后的字母表示用邓肯检验在5%水平上的显著性差异。

Note: Different letters within each column are significantly different by the Duncan test ($P = 0.05$).

3 讨论

本文研究了竹醋液在蒸馏处理后的化学成分变

化情况,以及对抑菌活性的影响。竹醋液的化学成分是其生物活性的物质基础,针对竹醋液化学成分的分析报道较多,主要使用GC-MS技术进行检测分

析^[2,7],本文首次利用吹扫捕集-热脱附与气质联用的方法,对竹醋蒸馏液的挥发性组分进行分析,发现其主要挥发性成分为乙酸甲酯、乙酸、糠醛、苯酚和愈创木酚。有关竹醋液的抑菌报道也较多,如竹醋液(50%和100%)对供试的出芽短梗霉(*Aureobasidium pullulans*)、球毛壳菌(*Chaetomium globosum*)等真菌以及对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌均存在抑制活性,而低浓度的竹醋液则活性较弱或没有活性^[18]。竹醋蒸馏液用于采后水果的活体防腐研究,结果表明,蒸馏处理后的竹醋液表现出明显的水果防腐效果,值得一提的是,经蒸馏处理后的竹醋液其色泽变透明,pH值也会轻微变小^[19]。因苯并芘的熔点和沸点分别是179℃和475℃,本研究所用的竹醋蒸馏液仅用60℃制备,可避免竹醋蒸馏液中含有苯并芘的风险。据报道^[20],用210℃热解处理获得的竹醋液,经检测不含竹焦油和苯并芘,因此定向制备不含竹焦油和苯并芘的竹醋液是将来发展的方向。本文为竹醋液的深加工利用奠定基础,有助于促进竹醋蒸馏液在食品领域更广泛的应用。

参考文献

- 1 Ho CL, Lin CY, Ka SM, *et al.* Bamboo vinegar decreases inflammatory mediator expression and NLRP3 inflammasome activation by inhibiting reactive oxygen species generation and protein kinase C- α / δ activation[J]. *PLoS One*, 2013, 8:75738.
- 2 Wang HF, Wang JL, Wang C, *et al.* Effect of bamboo vinegar as an antibiotic alternative on growth performance and fecal bacterial communities of weaned piglets[J]. *Livestock Sci*, 2012, 144:173-180.
- 3 Liu Q(刘庆), Tong SM(童森森), Ma JY(马建义). Volatile compounds from bamboo vinegar with HS-SPME and GC-MS[J]. *J Zhejiang Agri & Forestry Univ*(浙江农林大学学报), 2014, 31:308-314.
- 4 Wu GS(邬国胜), Li M(李敏), Ying GQ(应国清). Study on antimicrobial activities and stability of bamboo vinegar[J]. *J Zhejiang Univ Techno*(浙江工业大学学报), 2011, 39:44-46.
- 5 Sumanatrakul P, Kongsune P, Chotitham L, *et al.* Utilization of *Dendrocalamus Asper Backer* bamboo charcoal and pyrolytic acid[J]. *Energy Procedia*, 2015, 79:691-696.
- 6 Qian JQ(钱俊青), Wu HJ(吴宏君), Jin ZS(金再宿), *et al.* Study on anti-inflammatory activities of bamboo vinegar[J]. *J Zhejiang Univ Techno*(浙江工业大学学报), 2012, 40:623-625.
- 7 Wang J(王进), Cui Y(崔宇), Wang ZY(王志勇), *et al.* Comparison of two sample pretreatment methods for volatile composition analysis of bamboo vinegar[J]. *Food Sci*(食品科学), 2011, 32:198-201.
- 8 Liao XS(廖晓珊), Zhong XH(钟晓红). Antimicrobial properties of chitosan combination with bamboo vinegar[J]. *China Food Additives*(中国食品添加剂), 2009:104-108.
- 9 Huang MQ(黄漫青), Wei Q(韦强), Zhang HY(张海英), *et al.* Effects of bamboo vinegar on the quality of red sweet pepper fruits during storage[J]. *Chin Agri Bull*(中国农学通报), 2014, 03:260-264.
- 10 Wang XD(王小东), Wang Y(王玉), Huang H(黄慧). Study on bamboo vinegar for navel orange preservation[J]. *Jiangxi Forestry Sci and Techno*(南方林业科学), 2015, 43:59-61.
- 11 Wei Q(魏琦), Yue YD(岳永德), Tang F(汤锋), *et al.* Study on synergy effects of antibacterial activity of bamboo vinegar against fungicide[J]. *J Anhui Agri Sci*(安徽农业科学), 2010, 38:6923-6925.
- 12 Yang QF(杨绮帆), Wang YH(王应红), Peng XY(彭贤阳), *et al.* Synergistic antioxidant activity of bamboo vinegar and curcumin[J]. *Guangzhou Chem Ind*(广州化工), 2015: 54-55.
- 13 Zhao XZ(赵小珍), Li C(李晨), Cui XD(崔晓东), *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of plectranthus tomentosa essential oil[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2016, 28:377-381.
- 14 Li WZ(李文珠), Zhang WB(张文标), Lou JQ(楼建强). Property of bamboo charcoal and its test methods[J]. *World Bamboo Rattan*(世界竹藤通讯), 2007, 5:19-22.
- 15 Zhuang XW(庄晓伟), Chen SW(陈顺伟), Bai ME(柏明娥). Effects of moisture content and carbonization temperature on yield and quality of bamboo vinegar[J]. *World Bamboo Rattan*(世界竹藤通讯), 2008, 6:23-26.
- 16 Wang Y, Sun WB, Zha SQ, *et al.* Synthesis and biological evaluation of norcantharidin derivatives possessing an aromatic amine moiety as antifungal agents[J]. *Molecules*, 2015, 20: 21464-21480.
- 17 Chaurasia B, Pandey A, Palni LM, *et al.* Diffusible and volatile compounds produced by an antagonistic *Bacillus subtilis* strain cause structural deformations in pathogenic fungi *in vitro*[J]. *Microbiol Res*, 2005, 160:75-81.
- 18 Sulaiman O, Murphy RJ, Hashim R, *et al.* The inhibition of microbial growth by bamboo vinegar[J]. *J Bamboo & Rattan*, 2005, 4:71-80.
- 19 Jiang X, Li G, Wu Z. Deicing and corrosive performances of calcium acetate deicer made from bamboo-vinegar[J]. *World Acad Sci Eng & Techno*, 2010:506-511.
- 20 Yamashiro K, Ariffin H, Nishida H. Tar-free and benzo[*a*]pyrene-free hydrothermal liquefaction of bamboo and antibacterial property of recovered vinegar[J]. *Chem Letters*, 2015, 44:1342-1344.