

# 竹叶精油组分构成及其抑菌活性的研究

王媛媛<sup>1</sup>, 任璇<sup>1</sup>, 邹小琳<sup>1</sup>, 刘亚<sup>1</sup>, 吕兆林<sup>2\*</sup>

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学公共分析测试中心, 北京 100083)

**摘要:** **目的** 研究竹叶精油的化学组分构成, 并考察其体外抑菌活性。 **方法** 以食品常见腐败菌(枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和酿酒酵母)作为供试菌, 采用平板打孔法对竹叶精油的抑菌活性进行研究; 并通过气相色谱-质谱联用技术对竹叶精油的组分构成进行分析鉴定。 **结果** 竹叶精油共鉴定出 41 个化合物, 含量占挥发性成分总量的 97.36%, 主要成分为棕榈酸(19.35%)、植物醇(10.54%)和二十五烷(9.89%)等。竹叶精油对 4 种供试菌株均有抑制作用, 研究发现大肠杆菌是最敏感的, 其最小抑菌浓度为 0.56 mg/mL。 **结论** 本研究可为竹叶精油在食品工业中的深入利用提供一定的理论技术支持。

**关键词:** 竹叶; 精油; 抑菌活性; 气相色谱-质谱联用技术

## Chemical components of essential oil from bamboo leaves and their antimicrobial activity

WANG Yuan-Yuan<sup>1</sup>, REN Xuan<sup>1</sup>, ZOU Xiao-Lin<sup>1</sup>, LIU Ya<sup>1</sup>, LV Zhao-Lin<sup>2\*</sup>

(1. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;  
2. Analytical and Testing Center, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the chemical components of the essential oil from bamboo leaves and investigate their antimicrobial activity *in vitro*. **Methods** Taking food spoilage bacteria (*Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*) as the tested bacteria, the antimicrobial activity of the essential oil from bamboo leaves was investigated by disk diffusion method. The chemical compositions of essential oil from bamboo leaves were separated and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). **Results** Forty-one compounds consisting up to 97.36% of the essential oil were identified. The main chemical components of the essential oil were hexadecanoic acid (19.35%), phytol (10.54%), pentacosane (9.89%) and so on. The essential oil from bamboo leaves had strong inhibitory effect on 4 kinds of tested bacteria. The results indicated that *Escherichia coli* was the most sensitive bacteria, and its minimal inhibitory concentration (MIC) was 0.56 mg/mL. **Conclusion** This study provides a reference and research guide for the further utilization of essential oil from bamboo leaves in food industry.

**KEY WORDS:** bamboo leaves; essential oil; antimicrobial activity; gas chromatography-mass spectrometry

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD16B01)

**Fund:** Supported by the National Key Technology Research and Development Program (2015BAD16B01)

\*通讯作者: 吕兆林, 博士, 副教授, 主要研究方向为天然产物提取与加工利用。E-mail: zhaolinlv@bjfu.edu.cn

\*Corresponding author: LV Zhao-Lin, Associate Professor, Analytical and Testing Center, Beijing Forestry University, No.35, Qinghua East Road, Haidian District, Beijing 100083, China. E-mail: zhaolinlv@bjfu.edu.cn

## 1 引言

竹子是禾本科(Gramineae)竹亚科(Bambusoideae Nees)刚竹属(*Phyllostachys*)多年生常绿植物,是一种重要的森林资源。目前,全世界共有竹类植物70多属、1200多种,主要分布于热带和亚热带<sup>[1,2]</sup>。其中,中国是世界竹类植物中心产区之一,被冠有“竹子王国”的美誉。竹类生长周期短、再生能力强,有一次造林永续利用的特点。竹叶是除竹竿以外占竹子地上部分总生物量最大的部分。竹叶精油作为竹叶的一类次生代谢产物,研究表明具有广谱的抑菌活性<sup>[3-5]</sup>。但是由于植物精油所含组分复杂、化合物种类繁多,不同的提取方法会对植物精油的主要成分及其含量造成较大的影响,进而使同种精油的抑菌效果出现明显的差异<sup>[6,7]</sup>。因此,选取一种提取效率高、精油组分提取完全的提取技术是研究竹叶精油的前提条件。本研究采用改造后的竹叶精油提取装置(CN101693853A)<sup>[8]</sup>提取竹叶精油,该装置提取精油效率高,精油组分提取完全,通过气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对竹叶精油的组分进行定性定量分析,并对其结构类型进行归纳总结。以食品常见腐败菌(枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、酿酒酵母)作为供试菌,考察竹叶精油的抑菌活性,以期为合理开发竹叶资源提供科学的理论依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料与试剂

毛竹(*Phyllostachys heterocyla* cv. *pubescens*)竹叶采自福建省南平市延平区樟湖镇(经中国科学院西双版纳植物园张清研究员鉴定),自然晒干,组织破碎机粉碎至10~20目,备用;

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)、酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*),以上菌种均由北京林业大学食品微生物学实验室提供。

牛肉膏蛋白胨培养基(细菌):牛肉膏5g,蛋白胨10g,NaCl 5g,琼脂15~20g,水1000mL,用1.0mol/L NaOH溶液调节pH至7.2~7.4。

YPD培养基(真菌):酵母浸粉10g,蛋白胨20g,葡萄糖20g,琼脂15~20g,水1000mL。

正己烷(购自天津市光复精细化工研究所);葡萄糖、牛肉膏、蛋白胨、酵母浸粉、琼脂(购自北京奥博星生物技术有限责任公司)。以上试剂均为分析纯。

### 2.2 仪器与设备

GCMS-QP2010 Ultra(日本岛津公司);EV311 旋转蒸发仪(上海江莱生物科技有限公司);98-1-B 电子调温电热套(天津市泰斯特仪器有限公司);立式压力蒸汽灭菌器(上

海博讯实业有限公司医疗设备厂);生化培养箱 SHP-250型(上海森信实验仪器有限公司);Blue pard 生化培养箱(上海-恒科学仪器有限公司);DL-CJ-2NDI 洁净工作台(北京市东联哈尔仪器制造有限公司)等。

### 2.3 实验方法

#### 2.3.1 竹叶精油的制备

使用吕兆林等<sup>[8]</sup>自主研发的挥发油提取器提取技术制备精油。准确称取一定质量、平均粒径10~20目的竹叶粉于圆底烧瓶中,按1:25(m:V)的料液比加入双蒸水,加热圆底烧瓶中的样品水溶液4.5h后,分离出正己烷层,用无水硫酸钠干燥,然后40℃旋转蒸发脱除正己烷,得到竹叶精油。

#### 2.3.2 仪器条件

气相条件:采用日本岛津公司GC-MSQP2010, Rtx-5MS 石英毛细管色谱柱(25m×0.25mm, 0.25 μm);程序升温设置:柱初温60℃,保持2min,以3℃/min速率升至250℃,继续以15℃/min速率升至280℃,保持时间不少于10min;接口温度250℃;进样口温度280℃;载气为高纯氦气,流速1mL/min;进样量0.4 μL,分流比15:1。

质谱条件:电子轰击能量70eV,倍增器电压0.8kv;扫描范围33~500m/z。

数据处理:利用NIST11库检索图谱和人工图谱解析确定化合物结构,并结合相关文献资料<sup>[4, 9-11]</sup>,对精油成分进行定性分析;采用色谱工作软件,面积归一化法计算精油中各化学成分的相对百分含量。

#### 2.3.3 抑菌活性的测定

取斜面保存的菌种,细菌37℃活化培养24h,真菌28℃活化培养48h。然后用接种环从经过活化的斜面上挑取少量菌落接种于相应的液体培养基中,放入恒温振荡培养箱培养至对数生长期。使用平板计数法调整菌液浓度至 $10^5\sim 10^6$ CFU/mL。然后向已灭菌的培养皿中倾入相应菌种的培养基20~25mL,冷却。取各供试菌悬液100 μL均匀涂布于相应的固体培养基中。利用打孔器在固体培养基上打孔(孔径5mm),向打好的孔中加入30 μL浓度为36.00mg/mL的竹叶精油正己烷溶液,并用正己烷溶液作对照。然后将培养皿移入恒温培养箱,细菌(37℃, 24h),酵母(28℃, 48h)。测量抑菌圈直径,重复3次取其平均值。

#### 2.3.4 最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)的测定

用倍半稀释法将36.00mg/mL对应精油逐级稀释至18.00、9.00、4.50、2.25、1.12、0.56、0.28和0.14mg/mL不同浓度的竹叶精油,按2.3.3方法分别将不同浓度的精油注入到孔中,然后将培养皿移入培养箱中,细菌(37℃, 24h),酵母(28℃, 48h)。同时以正己烷溶液做空白对照。以无抑菌圈出现的最低浓度为MIC。

#### 2.3.5 数据处理

采用软件Excel 2013和Origin 8.5对数据进行分析处理。

### 3 结果与分析

#### 3.1 竹叶精油的成分分析

竹叶精油经 GC-MS 分析得到的总离子流色谱图如图 1 所示, 得到的化合物成分结果见表 1。从竹叶精油中共分离出 46 个化合物, 通过计算机谱库并结合相关文献, 最终鉴定出 41 个化合物的结构, 其含量占挥发性成分总量的

97.36%。竹叶精油的主要化学成分是棕榈酸(19.35%), 植物醇(10.54%), 二十五烷(9.89%), 月桂酸(4.65%), 4-羟基-2-甲基苯乙酮(4.27%), 三十四烷(4.16%), 异植醇(3.43%),  $\alpha$ -紫罗兰酮(3.23%), 邻苯二甲酸二丁酯(2.65%), 6,10,14-三甲基-2-十五烷酮(2.64%), 二十烷(2.47%),  $\beta$ -大马烯酮(2.09%)。这些含量相对较高的化合物占色谱总流出物总量的 69.38%。

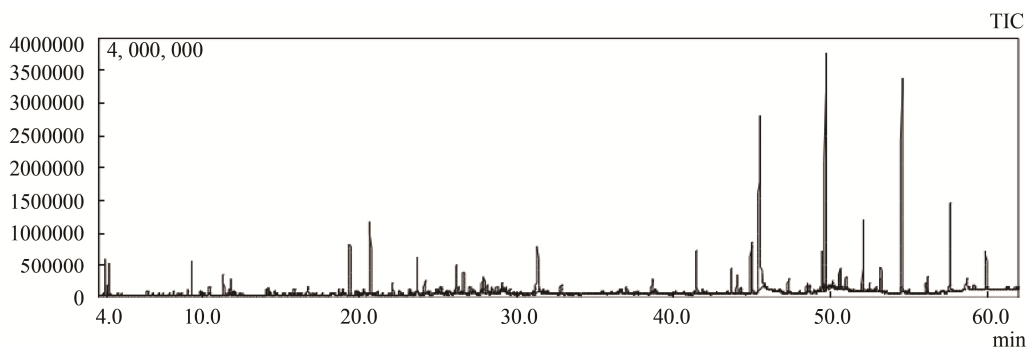


图 1 竹叶精油的总离子流色谱图

Fig. 1 Total ion chromatogram of essential oil from bamboo leaves

表 1 竹叶精油的主要化学成分

Table 1 Main chemical compositions of essential oil from bamboo leaves

峰号	保留时间(min)	分子式	化合物	相似度	百分含量(%)
1	3.839	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	叶醇	96	1.75
2	4.026	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	环己醇	86	0.34
3	4.094	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	正己醇	96	1.01
4	9.366	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	苯乙醛	98	1.67
5	11.381	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	1-壬烯-4-醇	81	1.29
6	11.875	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	壬醛	95	0.80
7	14.286	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O	4-乙基苯甲醛	88	0.45
8	15.889	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	藏红花醛	94	0.30
9	16.713	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	2,3-二氢苯并呋喃	85	0.78
10	18.726	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O	2-十一烯醛	89	0.34
11	18.994	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	壬酸	91	0.37
12	19.443	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	$\alpha$ -紫罗兰酮	80	3.23
13	20.735	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	4-羟基-2-甲基苯乙酮	89	4.27
14	22.174	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	5,6-二乙基-1,3-环己二烯	79	0.67
15	23.732	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O	$\beta$ -大马烯酮	96	2.09
16	24.202	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	$\alpha$ -宁烯醛	78	0.80
17	26.206	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	2,6-二甲基-1-环己烯-1-醋酸酯	80	1.76
18	26.669	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	香叶基丙酮	97	1.24
19	27.875	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O	$\beta$ -紫罗兰酮	92	1.02

续表 1

峰号	保留时间(min)	分子式	化合物	相似度	百分含量(%)
20	27.974	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	β-紫罗酮环氧化物	89	0.85
21	29.137	C <sub>13</sub> H <sub>22</sub> O	二环己基甲酮	76	0.53
22	31.391	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	月桂酸	95	4.65
23	32.876	ND	ND	ND	0.57
24	38.666	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	肉豆蔻酸	91	0.86
25	41.486	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	94	2.74
26	43.711	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O	法尼基丙酮	90	1.58
27	44.073	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	硬脂醛	94	1.16
28	44.971	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O	异植醇	96	3.43
29	45.037	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	邻苯二甲酸二丁酯	95	2.65
30	45.541	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	棕榈酸	91	19.35
31	47.337	C <sub>20</sub> H <sub>34</sub> O	香叶基香叶醇	91	0.77
32	48.528	ND	ND	ND	0.58
33	49.517	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	油酸甲酯	93	2.03
34	49.607	ND	ND	ND	0.35
35	49.701	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O	植物醇	95	10.54
36	50.629	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	(E)-松莪酮	77	0.73
37	50.711	ND	ND	ND	0.71
38	51.014	ND	ND	ND	0.43
39	52.078	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	二十烷	93	2.47
40	53.165	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	薄荷酮	78	0.53
41	53.232	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>	正二十四烷	95	0.95
42	54.573	C <sub>25</sub> H <sub>52</sub>	正二十五烷	88	9.89
43	56.114	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub> O	二十八烷醇	85	0.57
44	56.202	C <sub>26</sub> H <sub>54</sub>	正二十六烷	92	0.89
45	57.637	C <sub>34</sub> H <sub>70</sub>	正三十四烷	94	4.16
46	59.934	C <sub>36</sub> H <sub>74</sub>	正三十六烷	94	1.85

注: ND 表示未鉴定出。

### 3.2 竹叶精油的抑菌活性

为探究竹叶精油的抑菌活性, 采用打孔法研究其抑菌活性, 结果见表 2。由表 2 可知, 竹叶精油对 4 种供试菌株均表现出一定的抑菌活性, 抑菌圈直径为 (8.77~12.77)±0.25 mm。结合最小抑菌浓度 MIC 的测定, 发现大肠杆菌是最为敏感的, 竹叶精油对大肠杆菌的 MIC 仅

为 0.56 mg/mL。

### 3.3 精油化学组成成分与抑菌功效关系探讨

将精油组分按酸类、醇类、烃类、酮类、醛类、酯类和酚类等化合物进行归类总结, 如表 3 所示。

竹叶精油主要由酸、醇、烃、酮类等化合物构成, 该结果与有关文献报道相似<sup>[4,12]</sup>, 但在具体的化合物种类和

含量有一定的差异,这可能与不同的提取方法及原料来源等有关<sup>[5,6]</sup>。研究报道称,具有不饱和双键的化合物能够表现一定生理活性<sup>[3]</sup>;此外某些活性成分含有OH基团,而OH基团很活泼,易与酶中活性部位形成氢键,进而导致代谢系统的紊乱<sup>[13]</sup>。具有 $\alpha$ 、 $\beta$ 不饱和羰基结构的化合物能够表现出高效的抗菌活性<sup>[14]</sup>。因此我们可以推断,精油中化合物的羟基及不饱和双键是其发挥抗菌作用的重要结构基础<sup>[3]</sup>。

表2 竹叶精油的抑菌活性  
Table 2 Antimicrobial activity of essential oil from bamboo leaves

供试菌株	抑菌圈直径(mm)	MIC(mg/mL)
枯草芽孢杆菌	11.97±0.29 <sup>ab</sup>	1.12
金黄色葡萄球菌	8.77±0.25 <sup>d</sup>	2.25
大肠杆菌	12.77±0.25 <sup>a</sup>	0.56
酿酒酵母	9.77±0.46 <sup>c</sup>	2.25

注:  $P < 0.05$  水平上差异显著。处理后面的字母 a,b,c 相同时为不显著,完全不同时为显著或极显著

表3 竹叶精油的主要成分的比较  
Table 3 Comparison of main components of essential oil from bamboo leaves

化合物种类	竹叶精油	
	百分含量(%)	峰个数
酸类	25.23	4
醇类	19.70	8
烃类	20.21	6
酮类	17.96	10
醛类	4.72	6
酯类	4.68	2
酚类	/	/
其他	4.86	5

竹叶精油含有许多不饱和双键或羟基的化合物,如植物醇、叶醇、棕榈酸、月桂酸、苯乙醛、异植醇、4-羟基-2-甲基苯乙酮、6,10,14-三甲基-2-十五烷酮和紫罗兰酮等。可以粗略的认为,竹叶精油中的棕榈酸、叶醇、植物醇、紫罗兰酮、苯乙醛、壬醛是其具有抗菌活性的重要物质基础<sup>[3]</sup>。还有研究报道,精油的抑菌活性强于其主要成分的混合物,说明精油中起抑菌作用的除了主要成分,其中一些微量物质也起关键的作用<sup>[15]</sup>。因此,本研究认为竹叶精油的抑菌活性既与某些抑菌成分的含量有关,同时也是由于不同化学成分间相互协同作用的结果<sup>[16,17]</sup>。

## 4 结论

竹叶精油对食品常见腐败菌(枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、酿酒酵母)均表现较好的抑菌活性,竹叶精油的最小抑菌浓度(MIC)为0.56~2.25 mg/mL。基于GC-MS研究了精油组构成,竹叶精油共鉴定出41个化合物,主要成分为棕榈酸(19.35%)、植物醇(10.54%)、二十五烷(9.89%)等。在此基础上,初步探讨了精油组分与抑菌功效间的关系,竹叶精油的抑菌活性可能是由于不同化学成分间的相互协同作用决定的,但是具体的抑菌作用机制还有待进一步的深入研究。通过本研究可以为竹叶开辟新的发展方向,并在食品体系中进一步探讨其抑菌作用的可行性,为竹叶精油在食品工业中的深入利用提供科学的指导。

## 参考文献

- 蒋忠道. 世界的竹子资源状况[J]. 西南造纸, 2004, (02): 58.  
Jiang ZD. Bamboo resources in the world [J]. Southwest Pulp Paper, 2004, (02): 58.
- 江泽慧. 世界竹藤[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.  
Jiang ZH. Bamboo and rattan in the world [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008.
- 何跃君. 竹叶挥发油化学成分及其生物活性研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.  
He YJ. Chemical components and biological activities of essential oils from the bamboo leaves [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2009.
- 秦娇. 毛竹叶挥发油的提取及抑菌作用的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.  
Qin J. Study on the extraction and the anti-microbial activity of volatile oils from the leaves of *Phyllostachys pubescens* Mazei ex H.de Lebaie [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- Jin YC. Chemical Composition, and antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* varieties from China [J]. Molecules. 2011, 16, 4318-4327.
- 杨萍, 刘洪波, 潘佳佳, 等. 不同季节毛竹竹叶挥发油成分与抑菌效果比较研究[J]. 核农学报, 2015, 29(2): 313-320.  
Yang P, Liu HB, Pan JJ, et al. Comparative study of chemical composition and antibacterial effect of volatile oil from *Phyllostachys pubescens* leaves in different seasons [J]. J Nuclear Agri Sci, 2015, 29 (2): 313-320.
- 闫克玉, 贾玉红, 闫洪洋. 水蒸气蒸馏萃取法和同时蒸馏萃取法提取款冬花挥发油的比较[J]. 河南农业科学, 2008, 37(7): 91-93.  
Yan KY, Jia YH, Yan HY. Comparisons of the two methods between steam distillation extraction and simultaneous distillation extraction for extracting the volatile oil from *Tussilago farfara* L [J]. J Henan Agri Sci, 2008, 37(7): 91-93.
- 吕兆林, 张柏林, 姚永红, 等. 一种植物精油提取装置及用该装置制备竹叶精油的方法: 中国, CN101693853A [P]. 2010-04.  
Lv ZL, Zhang BL, Yao YH, et al. A plant essential oil extraction device and use the device to prepare the essential oil from bamboo leaves: China, CN101693853A [P]. 2010-04.
- 王梦馨, 沈学根, 周建松, 等. 杭菊栽培品种小黄菊鲜花和制成品香气

- 组成分析[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(4): 900-907.
- Wang MX, Shen XG, Zhou JS, *et al.* Analysis on chemical components of essential oils from fresh flowers and manufactured goods of *Chrysanthemum* cultivar *Dendrathera grandiflorum* 'Xiao Huang' Ju in Tongxiang City of Zhejiang Province [J]. Acta Agric Zhejiangensis, 2014, 26(4): 900-907.
- [10] 周熠, 谭兴和, 李清明. 同时蒸馏萃取箬竹叶挥发油的气相色谱-质谱分析[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 199-202.
- Zhou Y, Tan XH, Li QM. GC-MS Analysis of volatile oil extracted from *Indocalamus latifolius* leaves by simultaneous distillation and extraction [J]. J Food Sci, 2009, 30(10): 199-202.
- [11] 李翔, 王卫, 刘达玉, 等. 麻竹叶挥发油提取工艺及化学成分的 GC-MS 分析[J]. 中国食品添加剂, 2003(6): 92-98.
- Li X, Wang W, Liu DY, *et al.* Study on the extraction of essential oil of *D. latiflorus* Munro leaves and chemical composition analysis by GC-MS [J]. China Food Addit, 2003(6): 92-98.
- [12] 毛燕, 刘志坤. 毛竹叶挥发性成分的提取与 GC-MS 分析[J]. 福建林学院学报, 2001, 21(3): 265-267.
- Mao Y, Liu ZK. Extraction and GC-MS analysis of volatile composition of *Phyllostachys pubescens* leaves [J]. J Fujian Coll Forestry, 2001, 21(3): 265-267.
- [13] 杨致年, 曾超, 朱宗良, 等. 植物精油的抗菌性[J]. 四川林业科技, 2000, 21(3): 37-39.
- Yang ZN, Zeng C, Zhu ZL, *et al.* Antimicrobial activities of essential oil from plants [J]. J Sichuan Forestry Sci Technol, 2000, 21(3): 37-39.
- [14] 秦燕, 宁正祥, 高建华. 几种植物精油成分的抗菌效果研究[J]. 食品与机械, 1997, 03: 20-21.
- Qin Y, Ning ZX, Gao JH. Antibacterial properties of natural preventives from plant essential oils on bacteria [J]. Chin Tradit Pat Med, 1997, 03: 20-21.
- [15] Mourey A, Canillac N. Anti-*Listeria monocytogenes* activity of essential oils components of conifers [J]. Food Control, 2002, 13, 289-292.
- [16] 陆志科, 谢碧霞. 植物源天然食品防腐剂的研究进展[J]. 食品工业科技, 2003, 24(1): 93-96.
- Lu ZK, Xie BX. Research progress on natural food preservatives in plant sources [J]. Sci Technol Food Ind, 2003, 24(1): 93-96.
- [17] Imael HNB, Rodolfo J. Essential oils in combination and their antimicrobial properties [J]. Molecules, 2012, 17: 3989-4006.

(责任编辑: 姚菲)

## 作者简介



王媛媛, 硕士, 主要研究方向为天然产物提取与加工利用。

E-mail: yuanw82@163.com



吕兆林, 博士, 副教授, 主要研究方向为天然产物提取与加工利用。

E-mail: zhaolinlv@bjfu.edu.cn