

竹叶挥发油中主要化合物的抑菌作用

吕兆林¹, 林西², 郭弘璇², 秦娇², 侯智霞³, 张柏林²

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

3.北京林业大学 教育部省部共建森林培育与保护重点实验室, 北京 100083)

摘要:选取毛竹叶挥发油中含量相对较高的化合物, 即正二十三碳烷、雪松脑和十六烷酸 3 种单体化合物, 采用双层平板打孔法, 研究不同质量浓度的 3 种单体及各单体的混合物溶液对革兰氏阳性菌(枯草芽孢杆菌)、革兰氏阴性菌(大肠杆菌、假单胞杆菌、黄杆菌)及酵母菌等菌株的抑菌功效。结果表明:雪松脑具有较强的抑菌功效, 十六烷酸次之; 3 种单体的混合溶液亦具有较好的抑菌功效, 且普遍高于单体单独作用的效果; 正二十三碳烷和雪松脑混合后抑菌功效明显高于正二十三碳烷单独作用的效果, 略低于雪松脑溶液的单独作用; 正二十三碳烷和十六烷酸的混合液抑菌功效比正二十三碳烷溶液单独作用效果好, 略低于十六烷酸溶液的单独作用; 雪松脑和十六烷酸的混合液比十六烷酸溶液单独作用的抑菌功效高, 略低于雪松脑溶液的单独作用; 3 种单体溶液混合后抑菌功效不仅比正二十三碳烷溶液和十六烷酸溶液单独作用的高, 而且也比单体两两混合液的抑菌效果明显。

关键词:毛竹叶挥发油; 正二十三碳烷; 雪松脑; 十六烷酸; 抑菌功效

Antibacterial Effects of Major Compounds in Essential Oil from Bamboo Leaves

LÜ Zhao-lin¹, LIN Xi², GUO Hong-xuan², QIN Jiao², HOU Zhi-xia³, ZHANG Bo-lin²

(1. Analytical and Testing Center, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China ;

3. Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper reports the antibacterial effect of three major monomeric compounds (tricosane, cedrol and hexadecanoic acid) in the essential oil from bamboo leaves. Using agar diffusion method, the antibacterial action of these monomers and their mixtures were studied against different microorganisms: Gram-positive bacteria (*Bacillus subtilis*), Gram-negative bacteria (*Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Flavobacterium columnare*) and yeast. The results showed that cedrol had the strongest antibacterial effect, followed by hexadecanoic acid. The antibacterial effect of combinations of the three monomers was stronger than that seen when they were separately tested. The antibacterial effect of tricosane when used in combination with cedrol was much better than that observed when it was used alone, but slightly lower than that of cedrol alone. Similarly, the antibacterial effect of tricosane was increased by combination with hexadecanoic acid, but was weaker than that of hexadecanoic acid. The antibacterial effect of a mixture of cedrol and hexadecanoic acid was higher than that observed when hexadecanoic acid was tested alone, but slightly lower than that of sole hexadecanoic acid treatment. The antioxidant effect of a mixture of the three monomers was higher than that seen when tricosane and hexadecanoic acid were tested alone, and also higher than that of combinations of two of them.

Key words: essential oil of bamboo leaves; tricosane; cedrol; hexadecanoic acid; antibacterial effect

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)17-0054-04

研究证实, 不同结构类型的化合物与其抑菌作用存在密切关系, 里哪醇(linalool)、1,8-桉树醇(1,8-cineole)、

香芹酚(carvacrol)、香叶醇(geraniol)和松油醇(terpineol)等醇类物质有显著的抑菌活性; 羧酸及其衍生类物质对

收稿日期: 2011-07-08

基金项目: “十一五” 国家科技支撑计划项目(2006BAD19B08); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(JD2010-3); 国家自然科学基金项目(30500349)

作者简介: 吕兆林(1970—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为天然产物提取与加工利用。E-mail: zhaolinlv@bjfu.edu.cn

好氧菌和厌氧菌有很强的抑制作用；酮类物质比相应的醇类和羧酸类物质的抗真菌活性低；柠檬醛(citral)和香茅醛(citronellal)、紫苏醛(perillaldehyde)等醛类物质对大肠杆菌(*E. coli*)、肠出血性大肠杆菌(*E. coli* O157:H7)、鼠伤寒沙门氏菌(*S. typhimurium*)、李斯特菌(*L. monocytogenes*)和创伤弧菌(*V. vulnificus*)5种食源性致病菌也有较强的抑菌作用^[1-5]。

毛竹叶挥发油中醇类化合物约占17.79%、羧酸类化合物占9.41%、酮类化合物占52.25%、烷烃类化合物占7.68%^[6]，结合文献^[7-11]资料初步推测，竹叶挥发油中所含的酮类、醇类、羧酸和烷烃类物质可能是导致其具有抑菌作用的主要化合物。有研究^[6,8,10]表明毛竹叶挥发油具有一定的抑菌作用，为了明确毛竹叶挥发油中这几类主要化合物的抑菌功效，本实验选取竹叶挥发油中含量相对较高的3种单体化合物(正二十三碳烷、雪松脑和十六烷酸)^[6,8,12]，并以革兰氏阳性菌(枯草芽孢杆菌)、革兰氏阴性菌(大肠杆菌、假单胞杆菌、黄杆菌)和酿酒酵母等常见菌株作为评价各化合物抑菌功效的菌株，通过研究不同质量浓度的单体化合物溶液及不同质量浓度的各单体混合物溶液对上述菌株的抑菌作用，来评价竹叶挥发油中主要化合物的抑菌功效。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

正二十三碳烷(纯度99%，CAS：638-67-5)、十六烷酸(纯度95%，CAS：57-10-3)、雪松脑(纯度99%，CAS：77-53-2) 美国Sigma公司；正己烷、乙醚等试剂均为分析纯。

大肠杆菌和枯草芽孢杆菌由北京林业大学食品微生物学实验室提供；荧光假单胞菌SHL5(1511C0016000000391)和SHL7(1511C0016000000398)、黄杆菌SHL45(1511C0016000000390)以及酿酒酵母Ja64(1511C0016000000277)、Tokay(1511C0016000000278)和Y8(1511C0016000000083)由国家科技基础条件平台“微生物菌种资源”项目提供。

1.2 仪器与设备

MLS-3780 高压灭菌锅 日本Sanyo公司；VS-840K-U超净工作台 苏州安泰空气技术有限公司；MGC-35CBP-2光照培养箱 上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 菌种活化

将斜面菌株接种到相应的培养基中，大肠杆菌和枯草芽孢杆菌采用37℃培养24h，荧光假单胞菌SHL5和SHL7以及黄杆菌SHL45采用25℃培养48h，酿酒酵母菌株Ja64、Tokay和Y8采用28℃培养48h；每次实验

前使菌株充分活化，然后用接种环轻轻刮取斜面活化菌株到无菌生理盐水中，调整细胞浓度到 $10^8 \sim 10^9$ CFU/mL后进行抑菌实验。菌液浓度按10倍比例逐级稀释后采用平板计数法确定。

1.3.2 抑菌实验

1.3.2.1 双层平板培养基的制备

先将灭菌的琼脂(约10~15 mL)均匀地倒入直径90 mm 灭菌培养皿中，待琼脂凝固后，然后分别将调整到 $10^8 \sim 10^9$ CFU/mL的8种待测菌液与冷却至约50~60℃的有特定营养物质的液体培养基混合，两者混合体积比例是1:10，取20 mL上述混合物均匀地倒入已凝固好的琼脂面上，待含有菌液的上层培养基凝固。将凝固后培养基打孔(孔径5 mm)，孔的深度刚好触及琼脂层为宜，以备测试抑菌功效。

1.3.2.2 样品溶液配制

单体溶液：正二十三碳烷和十六烷酸用正己烷作为溶剂，雪松脑用乙醚作为溶剂。使用之前各称取200 mg单体于10 mL容量瓶中，用相应的溶剂定容至刻度，配制成质量浓度为20 mg/mL的单体溶液，再用倍半稀释法稀释成10、5、2.5 mg/mL的单体溶液。

2种单体混合液：取等体积2.5 mg/mL的正二十三碳烷溶液、雪松脑溶液和十六烷酸溶液，两两混合，得到2种单体混合液。其他质量浓度(5、10、20 mg/mL)的2种单体混合液按相同方法配制。

3种单体混合液：取等体积2.5 mg/mL的正二十三碳烷溶液、雪松脑溶液和十六烷酸溶液，混合后即得到3种单体混合液。其他质量浓度(5、10、20 mg/mL)的3种单体混合液按相同方法配制。

1.3.2.3 抑菌活性的测定

在已打好孔的8种待测菌液双层平板培养基中分别加入30 μ L配制好的2.5、5、10、20 mg/mL的各单体溶液(或配制好的4种质量浓度的2种单体混合液及3种单体混合液)，然后将培养皿移入培养箱中培养，菌株的培养温度参见1.3.1节，之后观察是否出现抑菌圈，并分别测量抑菌圈两个垂直方向的直径，每种质量浓度的单体溶液重复3次，取其平均值/mm。

1.4 统计分析

以SAS作统计学分析，实验数据以平均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示，采用 t 检验，显著性标准取 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 3种单体对8种菌株的抑菌功效

从表1可以看出，这3种单体在不同质量浓度对不同的菌株表现出不同的抑菌功效。

表1 正二十三碳烷、雪松脑和十六烷酸对8种菌株的抑菌作用
Table 1 Antibacterial effect of tricosane, cedrol and hexadecanoic acid on eight tested strains

菌株	单体溶液质量浓度/(mg/mL)	抑菌圈直径/mm		
		正二十三碳烷溶液	雪松脑溶液	十六烷酸溶液
SHL45	2.5	6.00 ± 0.36 ^a	12.13 ± 0.50 ^a	6.03 ± 0.21 ^a
	5	11.47 ± 0.21 ^b	14.93 ± 0.46 ^b	7.93 ± 0.40 ^b
	10	13.43 ± 0.45 ^c	12.07 ± 0.42 ^a	9.10 ± 0.40 ^c
	20	11.30 ± 0.30 ^b	8.00 ± 0.30 ^c	11.00 ± 0.20 ^d
SHL7	2.5	—	10.03 ± 0.40 ^a	—
	5	8.50 ± 0.21 ^a	11.50 ± 0.36 ^b	7.03 ± 0.46 ^a
	10	11.70 ± 0.35 ^b	12.07 ± 0.42 ^b	9.00 ± 0.53 ^b
	20	13.40 ± 0.53 ^c	8.00 ± 0.30 ^c	9.97 ± 0.32 ^c
SHL5	2.5	8.37 ± 0.40 ^a	11.00 ± 0.20 ^a	9.00 ± 0.50 ^a
	5	11.50 ± 0.26 ^b	11.47 ± 0.31 ^{ab}	9.97 ± 0.23 ^b
	10	10.53 ± 0.12 ^c	11.87 ± 0.12 ^{bc}	10.27 ± 0.31 ^b
	20	9.97 ± 0.21 ^d	12.13 ± 0.50 ^c	11.40 ± 0.30 ^c
大肠杆菌	2.5	6.53 ± 0.38 ^a	11.47 ± 0.15 ^a	6.13 ± 0.47 ^a
	5	8.03 ± 0.15 ^b	12.43 ± 0.31 ^b	7.00 ± 0.30 ^b
	10	9.60 ± 0.44 ^c	13.00 ± 0.17 ^{bc}	8.03 ± 0.15 ^c
	20	10.53 ± 0.12 ^d	13.43 ± 0.12 ^c	8.90 ± 0.26 ^d
枯草芽孢杆菌	2.5	7.20 ± 0.26 ^a	11.93 ± 0.32 ^a	—
	5	9.93 ± 0.21 ^b	12.43 ± 0.32 ^{ab}	7.00 ± 0.53 ^a
	10	12.80 ± 0.53 ^c	13.07 ± 0.12 ^{bc}	7.93 ± 0.40 ^b
	20	15.97 ± 0.49 ^d	13.40 ± 0.10 ^c	8.97 ± 0.32 ^c
Ja-64	2.5	—	11.50 ± 0.10 ^a	6.90 ± 0.30 ^a
	5	7.30 ± 0.26 ^a	11.50 ± 0.36 ^a	8.90 ± 0.17 ^b
	10	11.00 ± 0.46 ^b	11.97 ± 0.12 ^a	11.03 ± 0.25 ^c
	20	14.00 ± 0.52 ^c	13.43 ± 0.12 ^b	12.97 ± 0.23 ^d
Y-8	2.5	—	—	7.43 ± 0.32 ^a
	5	11.00 ± 0.46 ^a	—	8.47 ± 0.31 ^b
	10	12.13 ± 0.47 ^b	—	9.90 ± 0.26 ^c
	20	14.00 ± 0.50 ^c	—	11.97 ± 0.21 ^d
Tokay	2.5	—	7.00 ± 0.46 ^a	8.93 ± 0.15 ^a
	5	6.03 ± 0.21 ^a	9.47 ± 0.12 ^b	11.03 ± 0.25 ^b
	10	11.00 ± 0.46 ^b	10.00 ± 0.50 ^c	11.87 ± 0.21 ^c
	20	8.03 ± 0.49 ^c	12.07 ± 0.40 ^d	12.03 ± 0.38 ^d

注：同一菌株内肩标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)；—无抑菌效果。下同。

正二十三碳烷对SHL7、大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、Ja64、Y-8的抑菌活性随着3种单体溶液质量浓度的增加不断增强，而对SHL45、SHL5、Tokay 3种菌株的抑菌活性则随着3种单体溶液质量浓度的增加呈先增加后减小的趋势。以往对于烷烃类化合物的抑菌作用很少见报道，本实验研究结果表明，在适宜的质量浓度范围内，烷烃类化合物也有一定的抑菌功效。毛竹叶挥发油中烷烃类化合物占15.46%，含量较高，此研究结果的发现对于合理开发利用废弃的竹叶资源意义重大。

雪松脑除了对酿酒酵母Y-8没有抑菌功效外，对其他7种菌株均表现出相对较强的抑菌活性，雪松脑对枯草芽孢杆菌的抑菌活性随着其质量浓度的增加而增加，但质量浓度达到5mg/mL后变化幅度不大。另外，除

了SHL45和SHL7外，雪松脑对其他4种菌株的抑菌活性均随着单体质量浓度的增加不断增强。研究结果与以往报道^[13]吻合，许多植物中的醇类物质具有良好的抑菌活性。

十六烷酸对8种菌株的抑菌活性随着质量浓度的增加抑菌活性逐渐增强。化合物的抑菌作用可能与其所含的不饱和键的种类和数量有关，富含不饱和双键的醇、醛、酮、酸类和萜烯类化合物可能对抑菌功效起着重要的作用，而十六烷酸是典型的羧酸类化合物，结构与其表现出的较强抑菌活性与之前的研究^[14]是吻合的。

2.2 混合溶液对8种菌的抑菌作用

表2 不同质量浓度的3种单体混合溶液对8种菌株的抑菌功效
Table 2 Antibacterial effect of mixed tricosane, cedrol and hexadecanoic acid on eight tested strains

菌株	单体溶液质量浓度/(mg/mL)	抑菌圈直径/mm			
		正二十三碳烷和雪松脑的混合液	正二十三碳烷和十六烷酸的混合液	雪松脑和十六烷酸的混合液	正二十三碳烷、雪松脑和十六烷酸的混合液
SHL45	2.5	11.07 ± 0.12 ^a	6.97 ± 0.23 ^a	8.06 ± 0.21 ^a	9.87 ± 0.25 ^a
	5	12.00 ± 0.46 ^b	8.97 ± 0.32 ^b	8.90 ± 0.17 ^b	11.97 ± 0.29 ^b
	10	12.47 ± 0.21 ^b	11.10 ± 0.17 ^c	9.93 ± 0.12 ^c	12.50 ± 0.26 ^b
	20	13.00 ± 0.20 ^c	11.57 ± 0.12 ^d	11.90 ± 0.52 ^d	12.50 ± 0.36 ^b
SHL7	2.5	8.93 ± 0.15 ^a	5.97 ± 0.47 ^a	8.06 ± 0.21 ^a	8.50 ± 0.17 ^a
	5	10.83 ± 0.29 ^b	7.00 ± 0.30 ^b	8.90 ± 0.26 ^b	9.57 ± 0.31 ^b
	10	11.07 ± 0.49 ^b	8.03 ± 0.49 ^c	9.97 ± 0.23 ^c	10.03 ± 0.29 ^b
	20	11.87 ± 0.31 ^c	12.07 ± 0.31 ^d	10.97 ± 0.49 ^d	11.57 ± 0.31 ^c
SHL5	2.5	8.97 ± 0.32 ^a	8.53 ± 0.21 ^a	9.47 ± 0.32 ^a	8.90 ± 0.26 ^a
	5	11.53 ± 0.23 ^b	8.90 ± 0.17 ^a	9.97 ± 0.21 ^a	10.47 ± 0.21 ^b
	10	12.07 ± 0.40 ^b	10.03 ± 0.47 ^b	10.90 ± 0.17 ^b	10.80 ± 0.53 ^b
	20	12.10 ± 0.20 ^b	10.87 ± 0.21 ^c	11.93 ± 0.12 ^c	11.83 ± 0.51 ^c
大肠杆菌	2.5	7.90 ± 0.26 ^a	6.47 ± 0.21 ^a	7.40 ± 0.17 ^a	9.00 ± 0.10 ^a
	5	8.53 ± 0.21 ^{ab}	8.50 ± 0.17 ^b	9.53 ± 0.32 ^b	10.60 ± 0.36 ^b
	10	8.83 ± 0.25 ^{bc}	8.50 ± 0.17 ^b	10.43 ± 0.32 ^c	11.03 ± 0.12 ^b
	20	10.77 ± 0.55 ^d	10.87 ± 0.31 ^c	12.03 ± 0.31 ^d	12.00 ± 0.46 ^c
枯草芽孢杆菌	2.5	7.93 ± 0.32 ^a	6.47 ± 0.29 ^a	7.47 ± 0.38 ^a	7.90 ± 0.26 ^a
	5	9.93 ± 0.50 ^b	8.53 ± 0.32 ^b	8.93 ± 0.15 ^b	8.83 ± 0.25 ^b
	10	10.80 ± 0.20 ^c	10.00 ± 0.46 ^c	9.93 ± 0.31 ^c	10.50 ± 0.36 ^c
	20	11.57 ± 0.25 ^d	10.50 ± 0.17 ^c	11.37 ± 0.40 ^d	11.93 ± 0.31 ^d
Ja-64	2.5	8.50 ± 0.17 ^a	6.37 ± 0.21 ^a	8.03 ± 0.15 ^a	8.07 ± 0.38 ^a
	5	9.00 ± 0.50 ^a	8.03 ± 0.49 ^b	9.47 ± 0.21 ^b	8.90 ± 0.17 ^b
	10	11.00 ± 0.53 ^b	11.53 ± 0.29 ^c	10.50 ± 0.36 ^c	11.03 ± 0.23 ^c
	20	12.93 ± 0.50 ^c	12.07 ± 0.31 ^c	12.03 ± 0.15 ^d	12.47 ± 0.23 ^d
Y-8	2.5	7.10 ± 0.17 ^a	6.60 ± 0.17 ^a	4.83 ± 0.46 ^a	5.93 ± 0.50 ^a
	5	8.06 ± 0.21 ^b	7.50 ± 0.26 ^b	6.53 ± 0.21 ^b	6.97 ± 0.51 ^b
	10	10.03 ± 0.47 ^c	10.10 ± 0.30 ^c	8.07 ± 0.38 ^c	10.03 ± 0.12 ^c
	20	11.43 ± 0.32 ^d	11.07 ± 0.06 ^d	9.37 ± 0.12 ^d	10.57 ± 0.29 ^c
Tokay	2.5	6.03 ± 0.23 ^a	6.97 ± 0.23 ^a	7.50 ± 0.46 ^a	6.93 ± 0.12 ^a
	5	7.53 ± 0.38 ^b	8.06 ± 0.21 ^b	9.93 ± 0.12 ^b	8.00 ± 0.30 ^b
	10	8.53 ± 0.21 ^c	8.97 ± 0.21 ^c	11.07 ± 0.32 ^c	11.67 ± 0.29 ^c
	20	9.00 ± 0.53 ^c	10.00 ± 0.46 ^d	11.47 ± 0.12 ^c	11.50 ± 0.10 ^c

从表2可以看出，3种单体混合溶液的抑菌效果随

若单体质量浓度的增加而不断增强。

正二十三碳烷和雪松脑溶液混合后对 SHL45、SHL7、SHL5、枯草芽孢杆菌、Ja64 的抑菌效果比较明显,尤其是对 SHL45、SHL7、SHL5 的抑菌效果更为明显,对大肠杆菌、Y-8、Tokay 的抑菌效果相对较弱,这 2 种单体溶液混合后抑菌效果明显比正二十三碳烷溶液单独作用的抑菌效果好,略低于雪松脑溶液单独作用的抑菌效果,推测雪松脑对正二十三碳烷的抑菌起到协同促进作用,而正二十三碳烷对雪松脑的抑菌并没有明显的协同作用。

正二十三碳烷和十六烷酸的混合液对 SHL45、SHL7、Ja64 的抑菌效果较其他菌株效果明显,对另外 5 种菌株的抑菌效果相当;正二十三碳烷和十六烷酸的混合液的抑菌效果比正二十三碳烷溶液单独作用的抑菌效果好,略低于十六烷酸溶液单独作用的抑菌效果,推测十六烷酸对正二十三碳烷的抑菌起到协同促进作用,而正二十三碳烷对十六烷酸的抑菌并没有明显的协同作用。

雪松脑和十六烷酸的混合液除了对 Y-8 抑菌效果相对较弱外,对其他菌株的抑菌效果较相似,总体而言,雪松脑和十六烷酸的混合液的抑菌效果比十六烷酸溶液单独作用的抑菌效果好,略低于雪松脑溶液单独作用的抑菌效果,推测雪松脑对十六烷酸的抑菌起到协同促进作用,而十六烷酸对雪松脑的抑菌并没有明显的协同作用。

正二十三碳烷、雪松脑和十六烷酸的混合液对 SHL45、SHL7、SHL5、枯草杆菌、大肠杆菌、Ja64 的抑菌效果比较明显,对 Y-8、Tokay 的抑菌效果相对较弱。3 种单体溶液混合后抑菌功效不仅比正二十三碳烷溶液和十六烷酸溶液单独作用得高,而且也比单体两两混合液的抑菌效果明显,此实验结果与本研究的推测相吻合,即推测雪松脑对十六烷酸和正二十三碳烷的抑菌起到协同促进作用。

以往研究^[3]发现,同种挥发油对不同的微生物的抑菌作用不同,本实验结果与之相吻合,即竹叶挥发油中相同的化合物对不同的菌株表现出不同的抑菌功效。另外,本实验还发现,竹叶挥发油所含不同的化合物对相同的菌株的抑菌作用也不尽相同,该结果与以往的研究^[15]吻合。竹叶挥发油中的某些单一组分对微生物存在抑菌作用,它们的混合物也存在很强的抑菌作用,从而推测挥发油的抗菌活性是其所有抑菌成分及其所有抑菌成分协同作用的结果,何跃君^[16]、杨抚林^[17]等研究亦有类似的报道。

3 结 论

在对 8 种测试菌株的抑菌研究中,竹叶挥发油中 3 种单体化合物表现出不同程度的抑菌活性,雪松脑表现出较强的抑菌效果,十六烷酸次之,鲜有报道的竹叶挥发油含有量高于 15% 的烷烃类化合物——正二十三烷也同样具有显著的抑菌作用;同时,挥发油各组分间的协同作用对其抑菌功效的贡献也尤为重要,挥发油的抑菌功效是其所有抑菌成分及其所有抑菌成分协同作用的总和。

参考文献:

- [1] CHIN N X, NEU H C. Ciprofloxacin, a quinolone carboxylic-acid compound active against aerobic and anaerobic-bacteria[J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 1984, 25(3): 319-326.
- [2] IBRAHIM H, AZIZ A N, SYAMSIR D R, et al. Essential oils of *Alpinia conchigera* Griff. and their antimicrobial activities[J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 575-577.
- [3] KIM J, MARSHALL M R, WEI Cheng. Antibacterial activity of some essential oil components against 5 foodborne pathogens[J]. Journal Agricultural Food Chemistry, 1995, 43(11): 2839-2845.
- [4] 朱顺英. 多种植物挥发油成分分析和抗菌活性及岩白菜素的研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [5] RANDRIANARIVELO R, SARTER S, ODOUX E, et al. Composition and antimicrobial activity of essential oils of *Cinnamomum fragrans*[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 680-684.
- [6] 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.
- [7] 陆志科, 谢碧霞. 不同种竹叶的化学成分及其提取物抗菌活性的研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 49-52.
- [8] 吕兆林. 竹叶黄酮和挥发油的制备及生物活性的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [9] 莫开菊, 张中利. 竹叶提取物对微生物抑制作用研究[J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2000, 18(4): 16-18.
- [10] 姚永红, 秦娇, 张柏林, 等. 毛竹叶挥发油抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2010(1): 71-73.
- [11] 杨得城, 王发松, 张宏达, 等. 竹叶精油挥发油的化学成分与抗真菌活性研究[J]. 广西植物, 2000, 20(2): 181-184.
- [12] 吕兆林, 李月琪, 秦娇, 等. 毛竹叶挥发油的提取方法[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(4): 135-140.
- [13] 方德秋, 肖顺元. 柠檬醛及香精油的抗菌性研究概述[J]. 天然产物研究与开发, 1994, 6(2): 470-472.
- [14] 陈丽艳, 崔志红. 植物精油抗菌活性的研究进展[J]. 黑龙江医药, 2006, 19(3): 197-198.
- [15] 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.
- [16] 何跃君, 岳永德. 竹叶提取物的有效成分及其应用研究进展[J]. 生物质化学工程, 2008, 42(3): 31-38.
- [17] 杨抚林, 邓放明, 黄群, 等. 竹叶提取物中功能性成分及效用[J]. 中国食品与营养, 2004(5): 53-55.