

生防放线菌 Fq24 代谢产物对朱砂叶螨的生物活性*

陈红兵¹ 马林² 韩巨才^{3**} 刘慧平³ 闫彦萍⁴

(¹山西农业大学文理学院, 山西太谷 030801; ²江苏省农业科学院蔬菜研究所, 南京 210014; ³山西农业大学农学院, 山西太谷 030801; ⁴河北威远生物化工股份有限公司, 石家庄 050031)

摘要 菌株 Fq24 是从健康番茄植株分离得到的一株植物内生放线菌. 为了研究它对朱砂叶螨生物活性的影响, 通过萃取、柱层析、气相色谱-质谱 (GC-MS) 等技术对 Fq24 代谢产物中的杀螨活性物质进行了分离和结构鉴定, 并采用玻片浸渍法和叶片残毒法测定了这些代谢产物的生物活性. 结果表明: 石油醚萃取物对朱砂叶螨具有较强的触杀和产卵忌避作用. 触杀作用的 LC_{50} 为 $52.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 产卵忌避作用的 ODC_{50} 为 $43.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 经 GC-MS 分析, 流份 S_{11} 的主要化学成分为棕榈酸甲酯, 分子式为 $C_{17}H_{34}O_2$, 是代谢产物中的杀螨活性物质之一. 质量浓度为 $5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的棕榈酸甲酯对雌成螨的 24 h 校正死亡率为 78.3%, 对雌成螨 24 h 产卵驱避率为 81.6%.

关键词 内生放线菌 Fq24 朱砂叶螨 生物活性 棕榈酸甲酯

文章编号 1001-9332(2011)09-2419-05 **中图分类号** S433.7 **文献标识码** A

Bioactivity of the metabolites from endophytic actinomycete Fq24 against *Tetranychus cinnabarinus*. CHEN Hong-bing¹, MA Lin², HAN Ju-cai³, LIU Hui-ping³, YAN Yan-ping⁴ (¹College of Arts & Sciences, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China; ²Institute of Vegetable Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; ³College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China; ⁴Hebei Veyong Bio-chemical Co. Ltd., Shijiazhuang 050031, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(9): 2419-2423.

Abstract: An endophytic actinomycete strain Fq24 was isolated from healthy tomato plants. The acaricidal substances in the metabolites from Fq24 were collected and identified by the methods of extraction, column chromatography, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and their bioactivities against *Tetranychus cinnabarinus* were measured with slide-dip and leaf-residue methods. Among the extracts, petroleum ether extract had high bioactivity in contact toxicity and oviposition deterrent against *T. cinnabarinus*. Its lethal concentration of 50% (LC_{50}) was $52.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and its oviposition deterrent concentration of 50% (ODC_{50}) was $43.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The identification with GC-MS showed that the main chemical component of fraction S_{11} was methyl hexadecanoate, whose molecular formula was $C_{17}H_{34}O_2$, being one of the substances with acaricidal activity in the metabolites from Fq24. The 24 h corrected mortality rate of female mite at $5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ of methyl hexadecanoate was 78.3%, and the oviposition deterrent rate was 81.6%.

Key words: endophytic actinomycete Fq24; *Tetranychus cinnabarinus*; bioactivity; methyl hexadecanoate.

朱砂叶螨 (*Tetranychus cinnabarinus*) 是一种广泛分布于世界温带的农林害螨, 在我国各地均有发生, 可为害的植物有 32 科 113 种, 具有个体小、繁殖快、适应性强、危害重等特点^[1]. 大量使用化学杀螨

剂使许多螨类已产生抗药性, 甚至出现对杀螨剂的交互抗性^[2]. 寻找新型、高效、安全的杀螨剂已成为一个重要的课题^[3]. 在微生物代谢产物中寻找控制有害生物的生物农药是新农药研究的一个重要方向, 而放线菌是开发微生物药物潜力最大的微生物资源^[4-6].

植物内生菌具有分布广泛、生防性能好、保护生态环境等优点, 已成为植物病害生物防治的主要途

* 山西省科技攻关项目 (2007031039, 20100311038) 和山西省留学基金项目 (2009043) 资助.

** 通讯作者. E-mail: sxndhjc@yahoo.com.cn

2011-02-14 收稿, 2011-06-08 接受.

径之一^[7-9]. 因此,开展对植物内生放线菌的研究将有利于寻找新的生防菌种和活性物质. 这在病虫害的生物防治中具有重要的理论和实际意义^[10-12]. Fq24 菌株是从健康番茄植株的茎部分离得到的一株有抗真菌活性的植物内生放线菌^[13]. 马林等^[14]研究了 Fq24 菌株发酵液对番茄早疫病菌的抑制作用,但其发酵液的杀螨活性和杀螨活性组分的研究未见详细报道. 为此,本试验研究了发酵液的杀螨活性,并进一步从其发酵液中分离纯化活性组分,分析其化学成分,并采用玻片浸渍法和叶片残毒法,测定了其活性代谢产物对朱砂叶螨的生物活性,为进一步将其开发成为生物农药新品种提供理论基础.

1 材料与方法

1.1 供试材料与试剂

供试菌株放线菌 Fq24 从健康番茄植株的茎部分离得到^[13]. 供试虫源朱砂叶螨采自山西农业大学附近最近半年未施用农药的果园,为日龄和生长条件一致,且未受农药污染的健康成螨,以盆栽豆叶室内饲养多代供试. 温度(24 ± 2) °C,相对湿度 RH = (50 ± 10)%,光照(L:D=18 h:6 h).

所用石油醚、丙酮化学试剂均为分析纯(天津市化学试剂六厂);土温 80(Tween 80)产自天津市北辰方正试剂厂;硅胶 GF254 柱层析硅胶产自青岛海洋化工厂;棕榈酸甲酯购自 Sigma 公司上海分公司.

1.2 试验方法

1.2.1 活性物质的分离和纯化 发酵使用的培养基:玉米面 30 g、淀粉 10 g、葡萄糖 20 g、大豆粉 20 g、酵母粉 1 g、NaCl 2 g、MgSO₄ 0.3 g、(NH₄)₂SO₄ 2 g、CaCO₃ 6 g、KH₂PO₄ 0.2 g、H₂O 1000 mL. 菌株 Fq24 的发酵液在 28 °C、160 rpm 下发酵培养 6 d,然后将发酵混合物经过双层灭菌定性滤纸初次过滤后,再通过孔径为 0.22 μm 的滤膜再次过滤,所得液体即 Fq24 发酵液,用于后续试验.

每次取发酵液 100 mL 于分液漏斗中,用等体积的石油醚对发酵液多次萃取. 收集有机相用旋转蒸发仪减压浓缩至干,得到发酵液粗提物. 分别用水-吐温 80 溶剂稀释配制成浓度为 10、20、40、80 和 160 mg · L⁻¹ 5 个不同质量浓度的粗提物供试药液,采用 FAO 法推荐的玻片浸渍法^[15]和叶片残毒法^[16]对朱砂叶螨进行生物活性测定,求出毒力回归方程、致死中浓度(LC₅₀)和产卵忌避抑制中浓度(ODC₅₀).

将菌株 Fq24 发酵液粗提物上硅胶柱(柱长 45

cm,直径 2.5 cm),湿法上样,以石油醚、石油醚:氯仿=3:2(V:V)、石油醚:氯仿=2:3(V:V)、氯仿、氯仿:甲醇=49:1(V:V)、氯仿:甲醇=24:1(V:V)、甲醇 7 种洗脱剂各 1500 mL 进行洗脱. 在洗脱过程当中,洗脱液的流速为每秒 3~4 滴,流出液以 50 mL 为一个单位收集. 将流份分别用旋转蒸发仪减压浓缩,用毛细管沾取小量浓缩液经薄层层析(TLC)后,把层析板置于荧光检测灯(254 nm,356 nm)下检测,做好标记. 将相同成分合并,用水-吐温 80 溶剂稀释浓度为 6 mg · mL⁻¹,以蒸馏水加 1% 体积的吐温 80 为空白对照进行生物活性测定,以确定活性成分所在流份.

1.2.2 生物活性的测定 朱砂叶螨成螨触杀作用采用 FAO 法^[15],即玻片浸渍法,将处理药剂用水-吐温 80 溶剂稀释浓度为 5 mg · mL⁻¹,以蒸馏水加 1% 体积的吐温 80 为空白对照. 用毛笔挑取健康活泼、大小一致的朱砂叶螨雌成螨,将其背朝下粘在贴有双面胶的载玻片上,每片 40~50 头. 将黏有螨的载玻片浸入不同药液 5 s 后取出,用吸水纸吸干虫体周围的药液,移入(24 ± 2) °C 室内. 24 h 后检查死活螨数,计算校正死亡率,重复 3 次. 并用 Duncan 新复极差法比较各处理间的差异. 校正死亡率=(对处理死亡率-对照死亡率)/(1-对照死亡率)×100%.

朱砂叶螨产卵忌避作用采用叶片残毒法^[16],取平整干净的新鲜菜豆叶片,叶柄用湿棉球包裹,放在保湿培养皿中,叶子一半浸渍不同的药液,以蒸馏水加 1% 体积的吐温 80 为空白对照. 待叶片自然风干后,每片接雌成螨 10 头,重复 3 次,在 25 °C 下放置 24 h,除去雌成螨后记录各处理和对照的螨卵数,用产卵忌避率(oviposition deterrent rate, ODR)^[17]评价药剂对朱砂叶螨产卵的驱避作用,产卵忌避率=(对照产卵量-处理产卵量)/(对照产卵量+处理产卵量)×100%. 并用 Duncan 新复极差法比较各处理间的差异.

数据用 DPS 3.01 统计软件进行分析,采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性分析.

1.2.3 活性成分的分析 Fq24 菌株杀螨活性成分用气相色谱-质谱(GC-MS)联用检测所含物质的化学结构. 使用美国 Agilent HP6890N 气相色谱仪, Dexsil-300GC 熔融弹性石英毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);GC-MC 联用条件:柱温:初温 50 °C(2 min);气化室以 3 °C · min⁻¹ 称序升温至 250 °C(10 min);载气:高纯氮气;进样方式:分流 30:1;进样口温度 250 °C;尾吹 0.4 kg · cm⁻²,进样量 0.15 μL;

灵敏度 10^{-10} ，配用 CDMC-IB 色谱数据处理系统进行数据处理；离子源：EI 源（70 eV）；倍增器电压 1900 V；GC-MC 接口温度 280 ℃；扫描质量范围为 45 ~ 380 $m \cdot Z^{-1}$ ，扫描速度 1 s · DEC⁻¹。由上述条件得到各化合物质谱碎片，获得质谱数据直接由联机的 NIST98 数据系统进行检索，然后对照 EPA/NIH/MSDS 谱库进行物质鉴定。其中化合物相对含量由峰面积归一法计算。

2 结果与分析

2.1 Fq24 粗提物对朱砂叶螨的触杀作用和产卵忌避作用

从表 1 可以看出，粗提物对朱砂叶螨的触杀作用和产卵忌避作用都很明显，触杀作用的 LC₅₀ 为 52.57 $mg \cdot L^{-1}$ ，产卵忌避作用的 ODC₅₀ 为 43.18 $mg \cdot L^{-1}$ ，具有较好的生物活性。

2.2 柱层析流份对朱砂叶螨的触杀作用

植物内生放线菌 Fq24 的发酵液先用石油醚萃取后得到粗提物，再经过柱层析得到 15 个流份，15 个流份的得率分别为 2.23%、1.12%、1.56%、1.78%、1.35%、0.64%、0.68%、1.85%、0.66%、0.85%、2.69%、1.22%、1.58%、1.38% 和 2.23%。质量浓度为 6 $mg \cdot mL^{-1}$ 的各个流份对朱砂叶螨雌成螨触杀作用如图 1 所示，其中作用最好的流份有

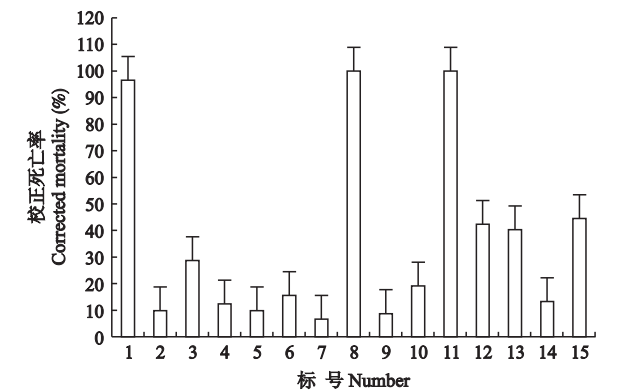


图 1 Fq24 柱层析流份对朱砂叶螨的触杀作用
Fig.1 Contact toxicity of Fq24 fraction by column chromatograph against *Tetranychus cinnabarinus*.

表 1 粗提物对朱砂叶螨的触杀和产卵忌避作用
Table 1 Contact toxicity and oviposition deterrent of extracts against *Tetranychus cinnabarinus*

作用方式 Mode of action	毒力回归方程 Regressive equation	LC ₅₀ / ODC ₅₀ ($mg \cdot L^{-1}$)	95% 置信限 95% FL ($mg \cdot L^{-1}$)	相关系数 <i>r</i>
触杀作用 Contact toxicity	$Y=3.0023+1.1610x$	52.57	41.43 ~ 66.69	0.982
产卵忌避作用 Oviposition deterrent	$Y=2.1561+1.7391x$	43.18	36.72 ~ 50.77	0.976

S₁、S₈ 和 S₁₁，校正死亡率分别为 96.6%、100% 和 100%，其他 12 个流份的校正死亡率都在 50% 以下。说明发酵液中含有多种杀螨活性物质，杀螨活性物质主要集中在流份 S₁、S₈ 和 S₁₁ 之中。

2.3 GC-MS 分析结果

Fq24 代谢物经过柱层析后得到的流份 S₁₁ 的触杀作用较好，所以进一步研究了流份 S₁₁ 中所含物质结构。从图 2 可以看出，流份 S₁₁ 以保留时间为 12.62 min 的化合物为主，根据该化合物的质荷比和相对丰度，其质谱数据直接由联机的 NIST98 数据系统进行检索，然后对照 EPA/NIH/MSDS 谱库进行对照分析，将其鉴定为棕榈酸甲酯，分子式为 C₁₇H₃₄O₂，相似度为 99%，分子量为 270.29。

2.4 不同药剂对朱砂叶螨的触杀作用和产卵忌避作用

从表 2 可以看出，质量浓度为 5 $mg \cdot mL^{-1}$ 的各处理对雌成螨 24 h 后的死亡率和校正死亡率均为发酵液<棕榈酸甲酯<流份 S₁₁<粗提物，24 h 后的产卵忌避率为发酵液<流份 S₁₁<棕榈酸甲酯<粗提物。质量浓度为 5 $mg \cdot mL^{-1}$ 的粗提物对朱砂叶螨的触杀作用和产卵忌避作用明显，且含有多种杀螨活性物质的粗提物比纯化后的流份 S₁₁ 和棕榈酸甲酯的

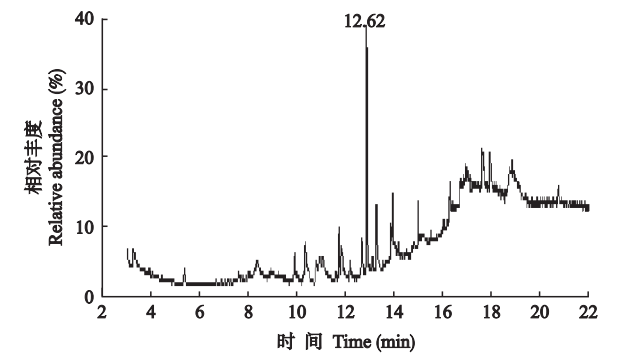


图 2 流份 S₁₁ 的总离子流色谱图
Fig.2 Total ion current chromatogram of fraction S₁₁.

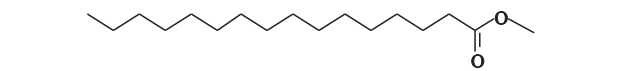


图 3 棕榈酸甲酯分子结构
Fig.3 Structure of methyl hexadecanoate.

表 2 4 种物质对朱砂叶螨的触杀和产卵忌避作用
Table 2 Contact toxicity and oviposition deterrent of four acaricidal substances against *Tetranychus cinnabarinus*

药 剂 Acaricidal substance	成螨死亡率 Mortality of adult (%)	校正死亡率 Corrected mortality (%)	产卵忌避率 ODR (%)
发酵液 Fermentation liquor	56. 49±0. 86cC	55. 90±1. 23cC	78. 62±1. 35cC
粗提物 Crude extracts	98. 25±0. 11aA	97. 36±0. 18aA	96. 48±1. 25aA
流份 S ₁₁ Fraction S ₁₁	79. 32±1. 43bB	78. 54±1. 72bB	72. 79±1. 12dD
棕榈酸甲酯 Methyl hexadecanoate	78. 26±1. 22bB	77. 45±0. 86bB	81. 56±1. 63bB

不同小、大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$) Different small and captical letters meant significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

生物活性更强,其具体原因尚需进一步分析.

3 讨 论

植物内生放线菌 Fq24 的发酵液经石油醚萃取后,得到的粗提物对朱砂叶螨的触杀作用和产卵忌避作用都很明显,触杀作用的 LC_{50} 为 $52.57\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,产卵忌避作用的 ODC_{50} 为 $43.18\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 产卵刺激物质和驱避物质在调节昆虫产卵行为过程中起着十分重要的作用,如丙基酚类物质对朱砂叶螨有较好的毒杀、杀卵和抑制产卵作用^[18],牵牛子石油醚提取物对朱砂叶螨雌成螨 24 h 后的产卵抑制率和驱避率分别达到 82.5% 和 94.5%^[19],亚油酸甲酯具有较强的触杀、产卵抑制和驱避作用,浓度为 $5\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,对朱砂叶螨的雌成螨和卵 24 h 后的校正死亡率分别达到 82.8% 和 78.5%^[20]. 来源于植物的产卵驱避活性物质有大量的报道,但是来源于微生物代谢产物的产卵驱避活性物质报道很少^[21]. 本试验结果表明,菌株 Fq24 发酵液的粗提物和柱层析分离得到的流份 S₁₁ 使朱砂叶螨在菜豆叶片上的产卵量明显减少,从而可以减少朱砂叶螨对植物的侵害,这对农业害虫的防治有重要价值. 有害生物综合治理(IPM)策略并不总是以毒杀有害生物为目标,而强调充分利用各种措施将有害生物种群控制在经济允许的受害水平之下,以达到适合农林业可持续发展的需求平衡. 菌株 Fq24 发酵液中的活性物质对试验朱砂叶螨的产卵驱避效应恰恰符合有害生物综合治理策略,值得深入研究.

粗提物中的杀螨活性物质棕榈酸甲酯是脂肪酸甲酯,广泛存在于自然界许多植物的组织中^[22-24]. 它是多种昆虫的化学信息素,对昆虫有拒食^[25]、驱避^[26]或抑制葡萄花翅小卷蛾产卵^[27]等作用,其来源广、与环境兼容性好,但是来源于微生物的活性代谢产物还未见有报道. 此外,本试验只对 3 个有较高杀螨活性流份中的 S₁₁ 进行了化学成分分析,而其他两个流份 S₁、S₈ 中活性物质的化学成分还需要进行

后续研究.

参考文献

[1] He L (何 林), Yang Y (杨 羽), Fu J-Z (符建章), *et al.* Resistance selection and relative fitness of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) to abamectin. *Journal of Plant Protection* (植物保护学报), 2004, **31** (4): 395-400 (in Chinese)

[2] Tang C-C (唐除痴), Li Y-C (李煜昶), Chen B (陈彬), *et al.* Pesticide Chemical. Tianjin: Nankai University Press, 1998: 225 (in Chinese)

[3] Wang Y-N (王有年). Research advances and application prospects of botanical acaricides. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2010, **46**(6): 118-127 (in Chinese)

[4] Yang G (杨 光), Sun C-H (孙长华), Li D-G (李东刚). Overview of the development of microbial pesticides. *Chemical Engineer* (化学工程师), 2010, **173** (2): 45-48 (in Chinese)

[5] Shi J-Y (石晶盈), Chen W-X (陈维信), Liu A-Y (刘爱媛). Advances in the study of endophytes and their effects on control of plant diseases. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(7): 2395-2401 (in Chinese)

[6] Shi N (石 楠), Yang R-L (杨润蕾), Zhao L-K (赵丽坤), *et al.* Progress in actinomycetes with insecticidal activities. *Journal of Anhui Agricultural Science* (安徽农业科学), 2009, **37**(11): 4871-4873 (in Chinese)

[7] Compant S, Duffy B, Nowak J, *et al.* Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, **71**: 4951-4959

[8] Huang X-H (黄晓辉), Li S (李 珊), Tan Z-J (谭周进), *et al.* Progress of study on endophytic actinomycetes in plant. *Biotechnology Bulletin* (生物技术通报), 2008(1): 42-46 (in Chinese)

[9] Cao L, Qiu Z, You J, *et al.* Isolation and characterization of endophytic *Streptomyces* strains from surface-sterilized tomato (*Lycopersicon esculentum*) roots. *Letters in Applied Microbiology*, 2004, **39**: 425-430

[10] Ji Z-Q (姬志勤), Zhang J-W (张继文), Wei S-P (魏少鹏), *et al.* Isolation and identification of the insecticidal ingredients from the fermentation broth of *Strepto-*

- myces qinlingnensis*. *Chinese Journal of Pesticide Science* (农药学学报), 2007, **9**(1): 25–28 (in Chinese)
- [11] Meng X-F (孟晓峰), Zhang L-P (张礼萍), Gong B-Y (龚炳永). Studies on the metabolites of actinomycetes SIP19764. *Chinese Journal of Antibiotics* (中国抗生素杂志), 1999, **24**(3): 173–174, 225 (in Chinese)
- [12] Chen X-L (陈小龙), Zheng Y-G (郑裕国), Shen Y-C (沈寅初). New agroantibiotics: Spinosads. *Pesticides* (农药), 2002, **41**(1): 4–7 (in Chinese)
- [13] Liu H-Q (刘慧芹), Zhang S (张 姝), Han J-C (韩巨才), *et al.* Isolation and inhibition of tomato and other plants endophytic actinomycetes. *Hubei Agricultural Sciences* (湖北农业科学), 2009, **48**(9): 2151–2153 (in Chinese)
- [14] Ma L (马 林), Han J-C (韩巨才), Liu H-P (刘慧平). Inhibiting Effect of endophytic actinomycetes Fq24 and Lj20 on *Alternaria solani* (Ell. et Mart) Jones et Grout. *Pesticide Science and Administration* (农药科学与管理), 2006, **27**(5): 29–31, 35 (in Chinese)
- [15] Busvine JR. Plant Production and Protection 21: Recommended Methods for Measurement of Resistance to Pesticides. Rome, Italy: FAO, 1980: 49–54
- [16] Ling B (凌 冰), Zhang M-X (张茂新), Kong C-H (孔垂华), *et al.* Chemical composition of volatile oil from *Chromolaena odorata* and its effect on plant, fungi and insect growth. *Chinese journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(5): 744–746 (in Chinese)
- [17] He Y-B (何衍彪), He T-Y (何庭玉), Gu W-X (谷文祥), *et al.* Bioactivity of volatile oils from *Myoporum bontioides* on *Plutella xylostella*. *Chinese journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(1): 149–152 (in Chinese)
- [18] Zhang J (张 静), Feng G (冯 岗). Acaricidal activity of eleven propyl-phenols against *Tetranychus cinnabarinus*. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2010, **26**(17): 285–288 (in Chinese)
- [19] Wang Y (王 燕), Shi G-L (师光禄), Wu Z-Y (吴振宇), *et al.* Acarocidal activity of semen pharbitidis against *Tetranychus cinnabarinus*. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2009, **45**(3): 79–84 (in Chinese)
- [20] Du J (杜 娟), Zhao L (赵 磊), Shi G-L (师光禄), *et al.* Acaricidal activity of methyl linoleate against *Tetranychus cinnabarinus*. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2010, **26**(6): 247–249 (in Chinese)
- [21] Meng G-L (孟国玲), Xiao C (肖 春), Gong X-W (龚信文). Progress in the study and application of oviposition deterrents of insects. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2000, **43**(2): 214–224 (in Chinese)
- [22] Qiao C-Y (乔春燕), Liu N (刘 宁). Analysis on chemical constituents of volatile oil from *Sonchus arvensis* L. by GC-MS. *Journal of Northeast Agricultural University* (东北农业大学学报), 2008, **39**(6): 112–114 (in Chinese)
- [23] Liu S-X (刘偲翔), Liu B-M (刘布鸣), Dong X-M (董晓敏), *et al.* Analysis of essential oil from *Mahonia bodinieri* Gagnep. *Journal of Guangxi Academy of Sciences* (广西科学院学报), 2010, **26**(3): 216–217, 220 (in Chinese)
- [24] Cui Y-M (崔艳梅), Wang H (王 辉), Zhao C-Q (赵长琦). GC-MS analysis of lipid soluble components from roots of *Iris tenuifolia* Pall. *Journal of Beijing Normal University* (Natural Science) (北京师范大学学报·自然科学版), 2010, **46**(4): 500–502 (in Chinese)
- [25] Posy DC, Mohamed MA, Coppel HC, *et al.* Identification of an ant repellent allomone produced by social wasp *Polistes fuscatus* (Hymenoptera: Vespidae). *Journal of Chemical Ecology*, 1984, **10**: 1799–1807
- [26] Henderson G, Wells JD, Jeanne RL. Methyl palmitate and methyl myristate repel flies. *Florida Entomologist*, 1991, **74**: 365–368
- [27] Gabel G, Thiéry D. Oviposition response of *Lobesia botrana* females to long-chain free fatty acids and esters from its eggs. *Journal of Chemical Ecology*, 1996, **22**: 161–171

作者简介 陈红兵,男,1972 年生,副教授. 主要从事有机化学与生物源农药研究. E-mail: ndchb@126.com

责任编辑 肖 红
