

· 研究论文 ·

竹红菌甲素 Triton X-100 微乳剂的制备、 光热稳定性及抑菌活性

朱齐超, 张 媚, 李朋举, 赵 学, 朱旭伟, 郎倩萍, 林海萍*

(亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 生物农药高效制备技术浙江省工程实验室,
浙江农林大学, 浙江 临安 311300)

摘要:为解决竹红菌甲素(hypocrellin A, HA)易溶于有机溶剂却极难溶于水的问题,采用物理包埋法,以 Triton X-100 为载体,制备了对水稀释后稳定性良好的 500 mg/L 的竹红菌甲素 Triton X-100 微乳剂,并测定了其光热稳定性及对植物病原菌的抑制活性。结果表明:在 0~54℃、照度低于 3 600 lx 时,该微乳剂的光热稳定性良好;在照度为 7 200 lx 时,50 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂对番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea*、松针褐斑病菌 *Lecanosticta acicola*、油菜菌核病菌 *Sclerotinia sclerotiorum* 和小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum* 的抑制率均超过 50%,其中对油菜菌核病菌的抑制率最高,达 77.60%;1 000 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂对活体番茄接种番茄灰霉病菌的保护作用与治疗作用抑制率分别为 72.05% 和 64.73%,均优于相同条件下市售 50% 多菌灵可湿性粉剂的作用。研究表明,竹红菌甲素具有开发为光活化农药的潜力。

关键词:竹红菌甲素 Triton X-100 微乳剂;光热稳定性;植物病原菌;抑菌活性

DOI:10.3969/j.issn.1008-7303.2013.05.17

中图分类号:TQ450.6;TQ450.2 文献标志码:A 文章编号:1008-7303(2013)05-0587-06

Preparation light & thermal stability and antimicrobial activity of hypocrellin A in Triton X-100 micro-emulsion

ZHU Qichao, ZHANG Mei, LI Pengju, ZHAO Xue,
ZHU Xuwei, LANG Qianping, LIN Haiping*(The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Provincial Engineering Laboratory of
Biopesticide Preparation, Zhejiang A&F University, Lin'an 311300, Zhejiang Province, China)

Abstract: Hypocrellin A (HA) is easy to dissolve in organic solvent, but difficult to dissolve in water, which has been a bottleneck problem on the application of HA. Thus a new water-soluble fungicide HA-TX-100 micro-emulsion (ME) was developed by embedding HA in Triton X-100. The light & thermal stability and the antimicrobial activities of HA-TX-100 ME were investigated under laboratory conditions. The results showed that HA-TX-100 ME had good stability when the temperature was 0–54 °C and the light intensity was below 3 600 lx. Moreover, when the light intensity was 7 200 lx, 50 mg/L HA-TX-100 ME showed high antimicrobial activity against *Botrytis cinerea*, *Lecanosticta acicola*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Fusarium graminearum*, and the inhibition rates were all over

收稿日期:2013-06-26;修回日期:2013-08-27.

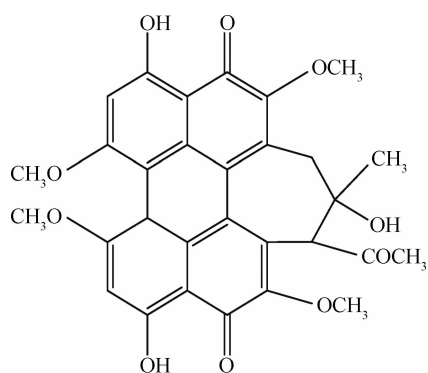
作者简介:朱齐超,男,硕士研究生,E-mail: MuyeAlex@163.com; *林海萍,通信作者(Author for correspondence),博士,教授,主要从事生物防治教学与研究,E-mail: zjlxylhp@163.com

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LY12C14005);国家级大学生创新创业训练计划项目(201310341003);浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)项目(2013R412004);浙江农林大学创新训练计划项目(20120201).

50%. The fungicide had the best inhibitory effect on *S. sclerotiorum* with inhibition rate reached 77.60%. The protective and therapeutic inhibition rates of 1 000 mg/L HA-TX-100 ME against *B. cinerea* were 72.05% and 64.73% respectively, which were significantly higher than that of carbendazim wettable powder under the same condition. The results of present study showed that HA had the potential to be developed as photoactive pesticide.

Key words: hypocrellin A-Triton X-100 (HA-TX-100) ME; light and thermal stability; pathogenic fungi; antimicrobial activity

竹红菌甲素(Hypocrellin A, HA)是我国特有的一种萜醌类色素,为药用真菌竹红菌 *Hypocrella bambusea*^[1]与竹黄菌 *Shiraia bambusicola*^[2]的次生代谢产物,其化学结构式见 Scheme 1。



竹红菌甲素(HA)

Scheme 1

HA 是一种能在可见光区内发挥光动力作用的新型天然光敏剂,具有显著的光疗作用^[3],目前主要用于医药开发,具有抗菌消炎、抗病毒、抗肿瘤等生理功能^[4-10]。近年来有学者发现,竹红菌素对革兰氏阳性细菌^[11-14]和革兰氏阴性细菌^[15]的生长具有良好的抑制效果;在竹黄菌提取物^[16]和竹黄菌发酵液萃取物^[17]中含有对细菌活性产生抑制作用的物质;此外,HA 具有良好的光敏杀伤松材线虫的作用^[18],对棉铃虫也有滞育作用^[19]。

然而,HA 能溶于多数有机溶剂,却极难溶于水,从而极大地限制了其作为光活化农药的开发应用。Triton X-100(TX-100)的有效成分为聚氧乙烯-8-辛基苯基醚,是一种优良的非离子表面活性剂。因其具有亲水端和疏水端,可对其他液体或包嵌分子有很强的增溶能力,因而被用作微乳包埋剂。本研究借助 TX-100 良好的疏水端,将疏水性的 HA 包合于其中,再利用其亲水端增加 HA 的水溶性,制备了水溶性良好的 HA-Triton X-100 微乳剂(HA-TX-100ME),并对其光热稳定性和对植物病原菌的抑制活性进行了研究,旨在为将 HA 开发为光活化农

药开辟有效途径。

1 材料与方法

1.1 供试菌种

番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea*、松针褐斑病菌 *Lecanosticta acicola*、油菜菌核病菌 *Sclerotinia sclerotiorum*、小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum*,均由生活农药高效制备技术浙江省工程实验室提供。

1.2 供试药剂及仪器

竹红菌甲素(HA)由本实验室制备,纯度大于90%;Triton X-100(TX-100),化学纯,购自北京索莱宝科技有限公司;50%多菌灵(carbendazim)可湿性粉剂,江苏蓝丰生物化工股份有限公司生产;其余试剂均为国产分析纯。土豆和番茄购自本地市场,食品级。

BUCHI R200 旋转蒸发仪,浙江赛因科学仪器有限公司;VS-1300-U 洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;PWX-330A-12H 二氧化碳光照培养箱,宁波莱福科技有限公司;UV-9100 紫外分光光度计,日立公司。

1.3 试验方法

1.3.1 HA-TX-100 微乳剂的制备 在安红波等^[20]制备方法的基础上稍作改进。将 0.05 g HA 溶于 20 mL 丙酮中,加入 0.2 mL TX-100,减压蒸馏除去丙酮,使 HA 在 TX-100 中均匀分散成糊状。用 100 mL 纯净水溶解,在 ≤ 30 °C 下连续超声振荡 1 h,得到澄清透明的 500 mg/L HA-TX-100 微乳剂,在室温下避光保存,备用。以同样方法制备 1 000 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂。

1.3.2 光谱特征分析 采用紫外-可见分光光度法分别测定 50 mg/L 的 HA 丙酮溶液、50 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂以及体积分数为 0.2% 的 TX-100 水溶液在 400 ~ 600 nm 波长处的吸收光谱。通过对比,分析 HA-TX-100 微乳剂的光谱特征,并确定其最大吸收波长,测定样品在该波长下的吸光值。

重复3次。

1.3.3 贮存稳定性测定 取10 mL 50 mg/L的HA-TX-100微乳剂,分别于54℃和0℃条件下贮存14 d,观察有无沉淀产生,并每隔2 d测定其吸光值。重复3次。按(1)式计算该制剂中HA的保留率(R)。

$$R/\% = A_t/A_0 \times 100 \quad (1)$$

式中, A_t 为贮存 t d时HA-TX-100微乳剂的吸光值, A_0 为处理前HA-TX-100微乳剂的吸光值。

1.3.4 光稳定性测定 取10 mL 50 mg/L的HA-TX-100微乳剂,分别于照度为0、2 400、3 600、7 200和12 000 lx条件下处理14 d,每隔2 d测定其吸光值。重复3次。按(1)式计算HA的保留率。

1.3.5 离体抑菌活性测定 按1.3.1节方法制备有效成分质量浓度为500 mg/L的HA-TX-100微乳剂(其中TX-100的体积分数为0.2%),经0.20 μm微孔滤膜过滤。采用菌丝生长速率法^[21-22]测定其抑菌活性。在照度为7 200 lx条件下,于26℃下恒温培养5 d后用十字交叉法测量菌落总直径,按(2)、(3)式计算抑制率。每组实验重复3次。用SPSS软件对抑制率进行差异显著性分析。

$$\text{菌落直径/mm} = \text{菌落总直径} - 4 \quad (2)$$

$$\text{抑制率/\%} =$$

$$\frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.6 活体抑菌活性测定 按1.3.1节方法制备1 000 mg/L的HA-TX-100微乳剂,参照刘丹萍等^[23]的番茄活体组织法,分别测定其对番茄的保护作用和治疗作用。以体积分数为0.2%的TX-100水溶液为阴性对照,以有效成分为1 000 mg/L的50%多菌灵可湿性粉剂为阳性对照,以清水为空白对照。在照度为7 200 lx、温度为26℃、相对湿度为80%的培养箱中培养4~5 d,采用十字交叉法测量番茄灰霉病菌菌落直径,根据公式(2)、(3)计算保护及治疗效果。每处理5个番茄,重复3次。

2 结果与分析

2.1 HA-TX-100微乳剂制备及其光谱特征

分光光度法测定结果(图1)显示:在400~600 nm处,0.2%的TX-100水溶液无吸收峰,而50 mg/L的HA丙酮溶液出现了3个明显的吸收峰,分别位于579、538和464 nm处,50 mg/L的HA-TX-100微乳剂与HA丙酮溶液的吸收图谱相似,但3个吸收峰略有红移,分别位于584、543和470 nm

处,表明HA被TX-100成功包合形成了微乳剂。

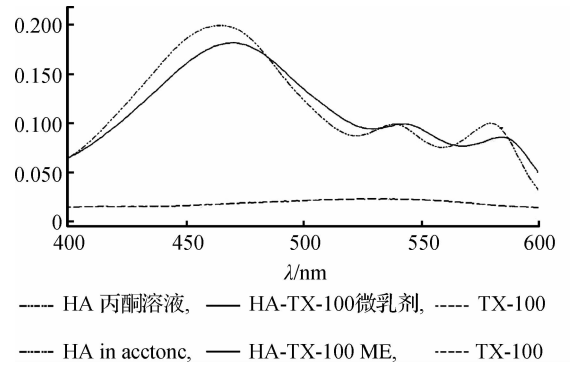


图1 0.2% TX-100水溶液、50 mg/L HA丙酮溶液及50 mg/L HA-TX-100微乳剂吸收光谱图

Fig. 1 UV-Vis absorption spectrum of 0.2% TX-100 aqueous solution, 50 mg/L HA in acetone and 50 mg/L HA-TX-100 ME

2.2 HA-TX-100微乳剂的贮存稳定性

热贮(54℃)及冷贮(0℃)处理14 d后,HA在溶液中的保留率见图2。

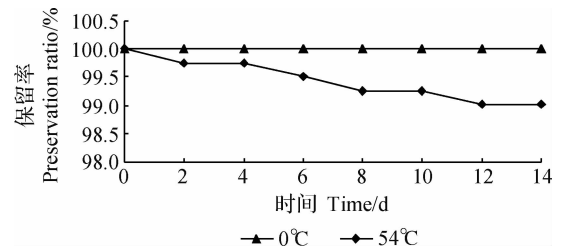


图2 温度对50 mg/L HA-TX-100微乳剂中HA保留率的影响

Fig. 2 The preservation ratio of 50 mg/L HA-TX-100 ME under different temperature

结果显示,冷、热贮14 d后,微乳剂中HA的含量几乎未降低,水溶液仍保持澄清,表明50 mg/L HA-TX-100微乳剂具有良好的热稳定性。

2.3 HA-TX-100微乳剂的光稳定性

图3显示:HA-TX-100微乳剂在照度分别为0、2 400和3 600 lx下处理14 d,HA的保留率几乎保持100%;当照度达7 200 lx时,HA含量随着光照时间的延长而逐渐减少,至第12天时,其保留率仅为15.3%,随后趋于稳定;当照度增加到12 000 lx时,HA的降解速率明显增大,至第10天时,保留率仅为5.9%,随后趋于稳定。可见,50 mg/L的HA-TX-100微乳剂在照度低于3 600 lx时稳定性良好。

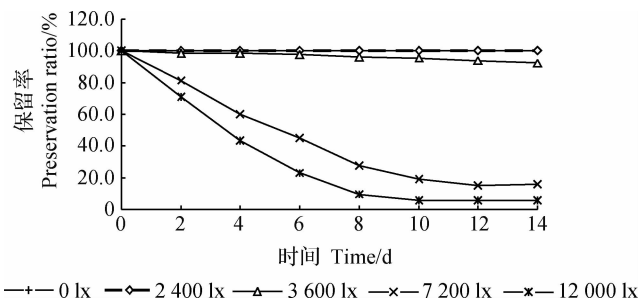


图3 照度对50 mg/L的HA-TX-100微乳剂中HA保留率的影响

Fig. 3 The preservation ratio of 50 mg/L HA-TX-100 ME under different light intensity

表1 照度为7 200 lx条件下50 mg/L的HA-TX-100微乳剂对4种植物病原菌的抑制率

Table 1 Inhibition rate of HA-TX-100 ME to 4 pathogenic fungi *in vitro* under the light of 7 200 lx (50 mg/L)

供试菌种 Pathogenic fungi	抑制率 Inhibition rate/%	
	HA-TX-100 微乳剂 HA-TX-100 ME	TX-100 水溶液 TX-100 aqueous solution
番茄灰霉病菌 <i>B. cinerea</i>	53.65 b	2.53
松针褐斑病菌 <i>L. acicola</i>	74.29 a	0.07
油菜菌核病菌 <i>S. sclerotiorum</i>	77.60 a	4.96
小麦赤霉病菌 <i>F. graminearum</i>	51.19 b	-0.13

注:同列数值后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Note: Data in a column followed by different lowercase letters indicated significant difference at $P < 0.05$ level.

表2 1 000 mg/L HA-TX-100微乳剂对番茄灰霉病菌的活体抑制率

Table 2 Inhibition rate of 1 000 mg/L HA-TX-100 ME to *B. cinerea* *in vivo*

处理制剂 Reagent	抑制率 Inhibition rate/%	
	保护作用 Protective effects	治疗作用 Therapeutic effects
1 000 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂 HA-TX-100 ME	72.05	64.73
50% 多菌灵可湿性粉剂 (有效成分 1 000 mg/L) 50% carbendazim WP (<i>a. i.</i> 1 000 mg/L)	61.37	64.44
0.2% TX-100 水溶液 0.2% TX-100 aqueous solution	8.47	6.57
清水 Water	-	-

图4、图5可直观反映出经不同处理剂处理后,番茄灰霉病菌菌丝在番茄上的生长情况。

3 讨论

随着对竹红菌素研究的深入,对其进行结构修饰与性质改造已成为新的研究焦点,其中之一就是改善其水溶性。目前主要采用物理包埋法制备竹红菌素包合物,通过加入表面活性剂将竹红菌素制成脂质体^[24]、胶束^[20]等生物模拟体系。此外,也有学

2.4 离体抑菌活性

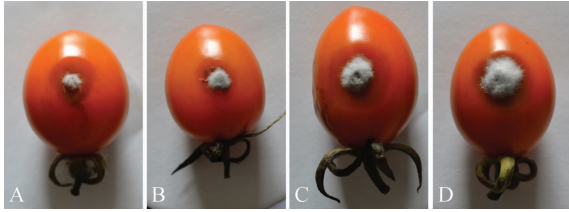
结果(表1)显示:在本研究条件下,50 mg/L的HA-TX-100微乳剂对4种供试植物病原菌的菌丝生长速率均有明显的抑制作用,其中对松针褐斑病菌及油菜菌核病菌的抑制率较高,分别为74.29%和77.60%;而TX-100水溶液(对照组)的最高抑制率仅为4.96%;可见,在该实验条件下,其抑菌活性成分应为HA。

2.5 活体抑菌活性

表2数据显示,1 000 mg/L的HA-TX-100微乳剂对番茄灰霉病具有较好的保护与治疗作用,抑制率分别为72.05%和64.73%,分别高于相同条件下50%多菌灵可湿性粉剂的抑制作用。

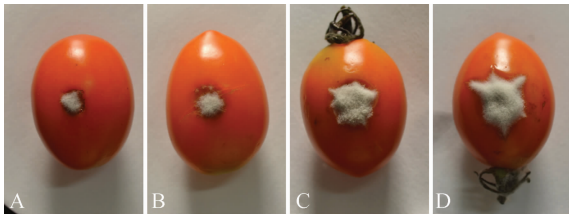
者成功地将竹红菌素包裹于二氧化钛^[25]和二氧化硅^[26]的纳米粒中。

本研究以Triton X-100为载体,通过物理包埋法制备出的HA-TX-100微乳剂,不仅改善了HA-TX-100的水溶性,而且保留了其对植物病原菌的抑制活性。冷、热贮及光照试验结果表明,HA-TX-100微乳剂具有良好的稳定性。此外,该制剂以水为分散介质,其中的TX-100含量极低,大大降低了其对人、畜和环境等的影响。



A. 1 000 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂; B. 有效成分 1 000 mg/L 的 50% 多菌灵可湿性粉剂; C. 0.2% 的 TX-100 水溶液; D. 清水
A. 1 000 mg/L HA-TX-100 ME; B. 1 000 mg/L 50% carbendazim WP; C. 0.2% TX-100 aqueous solution; D. water

图 4 HA-TX-100 微乳剂对活体番茄的保护作用
Fig. 4 Protective effects of HA-TX-100 ME on *B. cinerea*



A. 1 000 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂; B. 有效成分 1 000 mg/L 的 50% 多菌灵可湿性粉剂; C. 0.2% 的 TX-100 水溶液; D. 清水
A. 1 000 mg/L HA-TX-100 ME; B. 1 000 mg/L 50% carbendazim WP; C. 0.2% TX-100 aqueous solution; D. water

图 5 HA-TX-100 微乳剂对活体番茄的治疗作用
Fig. 5 Therapeutic effects of HA-TX-100 ME on *B. cinerea*

活体试验结果显示,1 000 mg/L 的 HA-TX-100 微乳剂对活体番茄接种番茄灰霉病菌的保护作用与治疗作用较好,抑制率分别为 72.05% 和 64.73%,均优于相同条件下市售 50% 多菌灵可湿性粉剂的作用,具有将其开发为光活化农药的潜力。

本文报道的 HA-TX-100 微乳剂的制备方法操作简便,反应温和,是一种切实可行的将 HA 开发为光活化农药的有效路径。在今后的研究中,可通过 HA 衍生物的研发提高其单线态氧产率,从而增强其杀虫、抑菌效果,并针对某单一病虫害进行田间试验,以期待 HA-TX-100 微乳剂作为光活化农药应用于实际生产。

参考文献 (Reference):

[1] 万象义,陈远腾. 一种新的光化学疗法药物——竹红菌甲素 [J]. 科学通报,1980,25(24):1148-1149.
WAN Xiangyi, CHEN Yuanpeng. Hypocrellin A: a new drug for photochemotherapy [J]. *Chin Sci Bull*, 1980, 25(24): 1148-1149. (in Chinese)

[2] 沈云修,荣先国. 竹黄的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2002, 27(9): 674-676.
SHEN Yunxiu, RONG Xianguo. Studies on the chemical constituents of *Shiraia bambusicola* [J]. *China J Chinese Mater Med*, 2002, 27(9): 674-676. (in Chinese)

[3] 魏玉德. 竹红菌素研究的进展 [J]. 中国实用医药, 2008, 3(11): 147-149.
WEI Yude. The study progress on hypocrellins [J]. *China Practical Medicine*, 2008, 3(11): 147-149. (in Chinese)

[4] 王家璧,包建南. 皮肤淀粉样变苔藓 37 例临床分析及竹红菌光化疗治疗观察 [J]. 中国医学科学院学报, 1985, 7(5): 349.
WANG Jiabi, BAO Jiannan. Clinical analysis and observation of hypocrellin photochemotherapy in the treatment of lichen amyloidosis; report of 37 cases [J]. *Acta Academiae Medicinae Sinicae*, 1985, 7(5): 349. (in Chinese)

[5] HUDSON J B, ZHOU J, CHEN J, et al. Hypocrellin, from *Hypocrella bambusae*, is phototoxic to human immunodeficiency virus [J]. *Photochem Photobiol*, 1994, 60(3): 253-255.

[6] DIWU Z J. Novel therapeutic and diagnostic applications of hypocrellins and hypericins [J]. *Photochem Photobiol*, 1995, 61(6): 529-539.

[7] HIRAYAMA J, IKEBUCHI K, ABE H, et al. Photoinactivation of virus infectivity by hypocrellin A [J]. *Photochem Photobiol*, 1997, 66(5): 697-700.

[8] CHIOSRICHAN S, RÉFRÉGIERS M, JAMME F, et al. Photosensitizer effects on cancerous cells; a combined study using synchrotron infrared and fluorescence microscopies [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 2008, 1780(5): 854-860.

[9] CHIOSRICHAN S, OUDRHIRI N, BENNACEUR-GRISCELLI A, et al. Toxicity and phototoxicity of hypocrellin A on malignant human cell lines, evidence of a synergistic action of photodynamic therapy with imatinib mesylate [J]. *J Photochem Photobiol B: Biology*, 2010, 99(2): 100-104.

[10] 殷荣,赵井泉,黄乃艳,等. 竹红菌乙素及其衍生物对人胃腺癌细胞光动力杀伤效应的比较 [J]. 中国激光医学杂志, 2012, 21(1): 1-5.
YIN Rong, ZHAO Jingquan, HUANG Naiyan, et al. Comparative study on hypocrellin B and hypocrellin B-derivatives induced photodynamic effects to gastric adenocarcinoma cell line [J]. *Chin J Laser Med Surg*, 2012, 21(1): 1-5. (in Chinese)

[11] 陈远腾,万象义,刘学系. 竹红菌光敏作用的初步探讨 [J]. 真菌学报, 1982, 1(2): 111-118.
CHEN Yuanpeng, WAN Xiangyi, LIU Xuexi. A preliminary report on the photosensitization of *Hypocrella bambusae* [J]. *Acta Mycologica Sinica*, 1982, 1(2): 111-118. (in Chinese)

[12] 王景祥. 竹黄的研究概况 [J]. 中草药, 1999, 30(6): 477-479.
WANG Jingxiang. The study of *Shiraia bambusicola* situation [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 1999, 30(6): 477-479. (in Chinese)

[13] 陈毅坚,钟文武,杨松艳. 滇西竹黄抗菌活性研究 [J]. 云南民

- 族大学学报:自然科学版,2010,19(2):154-156.
- CHEN Yijian, ZHONG Wenwu, YANG Songyan. Study on the antibacterial activity of *Shiraia bambusicola* Henn [J]. *J Yunnan Univ Nationalities; Nat Sci Ed*, 2010, 19 (2): 154 - 156. (in Chinese)
- [14] 高波,刘卫,张举成,等. 竹红菌素光敏反应抑菌效果研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(15):7839-7840.
- GAO Bo, LIU Wei, ZHANG Jucheng, *et al.* Study about photosensitive bacteriostasis effects of hypocrellins [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2010, 38(15): 7839 - 7840. (in Chinese)
- [15] SU Y J, SUN J, RAO S Q, *et al.* Photodynamic antimicrobial activity of hypocrellin A [J]. *J Photochem Photobiol B; Biology*, 2011, 103(14): 29 - 34.
- [16] KISHI T, TAHARA S, TANIGUCHI N, *et al.* New perylenequinones from *Shiraia bambusicola* [J]. *Planta Med*, 1991, 57(4): 376 - 379.
- [17] 李加友,李兆兰,焦庆才,等. 竹黄菌发酵液萃取物的抗菌活性研究[J]. 南京中医药大学学报:自然科学版,2003,19(3):159-160.
- LI Jiayou, LI Zhaolan, JIAO Qingcai, *et al.* A study on antibiotic activity of extract of fermented bamboo parasitic fungus [J]. *J Nanjing Univ Tradit Chin Med; Nat Sci*, 2003, 19(3): 159 - 160. (in Chinese)
- [18] 董锦燕,张克勤,赵智娟,等. 萘醌类化合物的杀线虫活性[J]. 菌物系统,2001,20(4):515-519.
- DONG Jinyan, ZHANG Keqin, ZHAO Zhixian, *et al.* Nematicidal activity of perylenequinones photosensitive compounds [J]. *Mycosystema*, 2001, 20(4): 515 - 519. (in Chinese)
- [19] 张志义,张伟,张红雨,等. 含竹红菌甲素的新型生物农药杀虫剂及其制法:CN 96120599. 7 [P]. 1996-11-22.
- ZHANG Zhiyi, ZHANG Wei, ZHANG Hongyu, *et al.* A new biological pesticide content of hypocrellin A and its preparing method: CN 96120599. 7 [P]. 1996-11-22. (in Chinese)
- [20] 安红波,赵井泉,李占双. 竹红菌乙素在 Triton X-100 胶束中的光谱性质及增溶效应研究[J]. 化学与黏合,2010,32(2):61-64.
- AN Hongbo, ZHAO Jingquan, LI Zhanshuang. The studies on the spectral properties and solubilization of the hypocrellin B in Triton X-100 micelles [J]. *Chemistry and Adhesion*, 2010, 32 (2): 61 - 64. (in Chinese)
- [21] 方中达. 植病研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998:152.
- FANG Zhongda. The Research Method of Plant Disease [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 152. (in Chinese)
- [22] WHEATLEY R, HACKETT C, BRUCE A, *et al.* Effect of substrate composition on production of volatile organic compounds from *Trichoderma* spp. inhibitory to wood decay fungi [J]. *Int Biodeter Biodegr*, 1997, 39(2/3): 199 - 205.
- [23] 刘丹萍,张立钦,陈安良,等. 山核桃外果皮中胡桃醌含量测定及抑菌活性[J]. 农药,2010,49(9):686-688.
- LIU Danping, ZHANG Liqin, CHEN Anliang, *et al.* Content determination and inhibition effect of juglone in the husk of *Carya cathayensis* on phytopathogenic fungi [J]. *Agrochemicals*, 2010, 49(9): 686 - 688, 701. (in Chinese)
- [24] 仇亦然,陆昭安,孙培冬. 竹红菌素脂质体的制备及其包封率测定方法的研究[J]. 日用化学工业,2011,41(6):422-425.
- QIU Yiran, LU Zhaoan, SUN Peidong. Preparation of hypocrellin liposome and determination of its extent of encapsulation [J]. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 2011, 41 (6): 422 - 425. (in Chinese)
- [25] 丁艳,宋开玺,顾晓天,等. 二氧化钛包裹竹红菌素纳米粒的制备和表征[J]. 南京师范大学学报:自然科学版,2009,32(1):79-82.
- DING Yan, SONG Kaixi, GU Xiaotian, *et al.* Preparation and characterization of hypocrellin encapsulated in titanium dioxide nanoparticles [J]. *J Nanjing Normal Univ; Nat Sci Ed*, 2009, 32 (1): 79 - 82. (in Chinese)
- [26] 赵传峰,周林,马菲,等. 新型竹红菌甲素水溶性纳米二氧化硅载体的制备激光敏活性研究[J]. 南京师范大学学报:自然科学版,2010,33(4):177-180.
- ZHAO Chuanfeng, ZHOU Lin, MA Fei, *et al.* Study on laser sensitive activity to prepare novel hypocrellin water-soluble nano silica carrier system [J]. *J Nanjing Normal Univ; Nat Sci Ed*, 2010, 33(4): 177 - 180. (in Chinese)

(责任编辑:金淑惠)