

## 竹醋液对印楝素 A 和咪鲜胺光解的影响

宋 丽, 王 进\*, 马晓江, 张瑶瑶, 吴 刚, 汤 锋, 岳永德

(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:** 竹醋液可用于农药增效剂, 为探讨竹醋液对农药光解的影响, 以高压汞灯为光源, 研究竹醋液对印楝素 A 和咪鲜胺在玻片表面和水中的光解作用, 以超高效液相色谱进行检测。结果表明, 在水中和玻片表面, 竹醋液对 2 种农药的光解均有光猝灭作用。在玻片表面, 竹醋液使咪鲜胺和印楝素 A 的光解半衰期延长至 5.73 min 和 4.13 min, 分别是空白对照的 2.2 倍和 1.4 倍。和对照相比, 竹醋液能延长水中咪鲜胺和印楝素 A 的光解半衰期 3.9 倍和 2.4 倍。稀释 30 倍的竹醋液相当于浓度为 57.45 mg·L<sup>-1</sup> 的化学抗光剂对氨基苯甲酸对印楝素 A 的抗光效果。竹醋液能显著延长供试农药光解的半衰期, 有望作为农药助剂在易光解农药中应用。

**关键词:** 光解; 印楝素 A; 竹醋液; 半衰期; 咪鲜胺

中图分类号: S482.91; TQ450.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)03-0434-05

### The effect of bamboo vinegar on photodegradation of azadirachtin A and prochloraz

SONG Li, WANG Jin, MA Xiaojiang, ZHANG Yaoyao, WU Gang, TANG Feng, YUE Yongde

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

**Abstract:** Bamboo vinegar has been used as a synergist in some pesticides. The effect of bamboo vinegar on photodegradation of azadirachtin A and prochloraz in water and on glass surface under high pressure mercury lamp (HPML) was studied. The analysis of pesticides was performed using ultra-performance liquid chromatography (UPLC). Results showed that bamboo vinegar exhibited photo-quenching effect on the photolysis of the pesticides. In the presence of the 10 times diluted solution of bamboo vinegar, the half-lives of prochloraz and azadirachtin A on the glass surface were 5.73 min and 4.13 min, respectively. Their half-lives were significantly prolonged compared to the control groups. Additionally, the photolysis of azadirachtin A and prochloraz in diluted bamboo vinegar was prolonged for 2.4-fold and 3.9-fold compared to those in distilled water. As to azadirachtin A, the photoprotection effect of 30 times diluted solution of bamboo vinegar for azadirachtin A was equivalent to the effect of 57.45 mg·L<sup>-1</sup> 4-aminobenzoic acid (a kind of commercial light stabilizer). Overall, bamboo vinegar can improve the photostability of pesticides in the aqueous solution or on the glass surface. Thus, bamboo vinegar could be a promising candidate as a light stabilizer agent in pesticide formulations.

**Key words:** photolysis; azadirachtin A; bamboo vinegar; half-life; prochloraz

竹醋液是竹炭加工的副产物, 是竹材在热解过程中产生的烟气经冷凝收集的棕褐色液体, 有特殊的烟熏味, 含有丰富的酸类、酮类、醇类和酚类等化学成分<sup>[1]</sup>。竹醋液具有抗氧化<sup>[2]</sup>、抑菌<sup>[3]</sup>和抗炎<sup>[4]</sup>等生物活性。在生产上, 竹醋液和农药按一定比例混合使用可以发挥协同增效作用<sup>[5]</sup>。据报道, 稀释 400 倍的竹醋液添加到 5% 氟铃尿中, 对于防治棉花

斜纹夜蛾具有显著增效作用, 且施用农药剂量减少一半<sup>[6]</sup>。竹醋液对杀菌剂咪鲜胺和戊唑醇也显示出增效作用<sup>[7]</sup>。目前, 竹醋液对农药的增效机理尚不明确。

农药施用后, 光解是其降解的重要方式之一<sup>[8]</sup>。一些对光不稳定的农药, 在光照下易分解, 使药效降低或失去活性, 因此, 在农药中添加光稳定剂,

收稿日期: 2016-10-18

基金项目: 国际竹藤中心基本科研业务费专项 (1632014009) 和“十二五”国家科技支撑计划课题 (2012BAD23B03) 共同资助。

作者简介: 宋 丽, 硕士研究生。E-mail: songliicbr@163.com

\* 通信作者: 王 进, 博士, 副研究员。E-mail: wangjin@icbr.ac.cn

能延缓农药的降解,起到增效作用。在研究农药光解作用时,发现许多物质可作为光稳定剂而延缓农药的光解速度。欧晓明等报道,邻硝基氯苯、对硝基苯酚能使硫脲醚的光解速率减慢,具有光猝灭效应<sup>[9]</sup>。Nguyen 等研究表明,壳聚糖-蜂胶复合纳米乳剂表现出对溴氰菊酯的光稳定作用<sup>[10]</sup>。王秋芬等研究了不同稳定剂对印楝素的光稳定效果,其中对氨基苯甲酸和水杨酸苯酯对印楝素的光稳定性有较大改善<sup>[11]</sup>。

为明确竹醋液对农药的增效作用是否与农药的光解有关,选择易光解的印楝素 A 和咪鲜胺为靶标农药,其中,印楝素 (azadirachtin) 是世界公认的植物源杀虫剂,具有高效、广谱、易降解和不易产生抗药性等特点。印楝素属于四环三萜类,在光照下易分解失活,因此限制了印楝素的应用<sup>[12]</sup>。咪鲜胺 (prochloraz) 是一种高效广谱的咪唑类杀菌剂,是一种低毒防腐保鲜剂,能够防治大田作物、水果等植物上的多种病害<sup>[13-14]</sup>。作为重要的杀虫剂和杀菌剂,印楝素 A 和咪鲜胺均存在易光解,造成持效期短的问题。因此,本研究分析了竹醋液对 2 种供试农药在水溶液和玻片表面的光解影响,旨在为探讨竹醋液对农药的增效机理提供参考,同时为竹醋液作为农药助剂的应用提供基础研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

仪器:超高效相液相色谱仪 (Agilent 1290),配二极管阵列检测器和色谱柱 (Eclipse plus C<sub>18</sub>, 2.1 mm×150 mm, 1.8 μm) (美国 Agilent 公司);SGY-1 型多功能光化学反应仪 (南京斯东柯电气设备有限公司);900X 型精密微量点滴仪 (英国 Burkard 公司);超纯水仪 (美国 Pall 公司);BP221S 电子天平 (德国 Sartorius 公司,  $d=0.0001$ );Delta 320 pH 计 (瑞士 Mettler-Toledo 公司)。

试剂:印楝素 A (纯度 95%) 购于美国 Sigma 公司;咪鲜胺 (纯度 98.5%) 购于德国 Dr. Ehrenstorfer 公司;对氨基苯甲酸 (p-aminobenzoic acid, PABA) (纯度 ≥99.0%) 购于上海安谱实验科技股份有限公司;甲醇和乙腈 (色谱级) 购于美国 Fisher Scientific 公司;竹醋液 (竹醋蒸馏液, pH 2.4, 无色透明, 总酸度 9%) 购于江苏江阴中炬生物科技有限公司。

### 1.2 标准溶液的配制

称取印楝素 A (14.0 mg)、咪鲜胺 (9.7 mg) 和对氨基苯甲酸 (10.0 mg) 3 种标准品,分别于 10 mL

容量瓶中,用甲醇定容,再逐级稀释至使用浓度。

### 1.3 超高效液相色谱条件

**1.3.1 咪鲜胺检测条件** 流动相为乙腈和水 (70:30, V/V);流速 0.25 mL·min<sup>-1</sup>;检测波长 204 nm;柱温 30 °C;进样量 4 μL。

**1.3.2 印楝素 A 检测条件** 流动相为乙腈(A)和水(B),梯度洗脱程序:0~6 min, 40% A; 6~7 min, 40%~80% A; 7~8 min, 80%~40% A; 8~9 min, 40% A;流速 0.25 mL·min<sup>-1</sup>;检测波长 215 nm;进样量 2 μL。

### 1.4 在水溶液中竹醋液对咪鲜胺、印楝素 A 的光解影响

**1.4.1 竹醋液与咪鲜胺混合溶液制备** 用超纯水稀释不同倍数的竹醋液与咪鲜胺甲醇溶液混合,使咪鲜胺的最终质量浓度为 5 mg·L<sup>-1</sup>,竹醋液的最终稀释倍数分别 10 倍、50 倍和 200 倍。

**1.4.2 竹醋液与印楝素 A 混合溶液制备** 用超纯水稀释不同倍数的竹醋液与印楝素 A 的水溶液混合,使印楝素 A 的质量浓度为 5 mg·L<sup>-1</sup>,竹醋液的最终稀释倍数分别为 30 倍、100 倍和 600 倍。

**1.4.3 高压汞灯光照** 分别取上述溶液 10 mL 于具塞石英试管中,置于高压汞灯的光解仪内,距离光源 10 cm,以冷水回流控制光源温度,光解仪内温度为 (25±1) °C,每处理重复 3 次,并设黑暗对照,不同光照时间取样,样品过 0.22 μm 滤膜,待测。

### 1.5 在玻片表面竹醋液对咪鲜胺、印楝素 A 的光解影响

**1.5.1 竹醋液与咪鲜胺混合溶液制备** 用甲醇将竹醋液稀释至 10 倍、50 倍和 200 倍后,再以稀释后的竹醋液为溶剂,配制浓度为 970 mg·L<sup>-1</sup> 的咪鲜胺溶液。准确吸取 20 μL 均匀涂布在石英玻片上,待溶剂挥干后,备用。

**1.5.2 竹醋液与印楝素 A 混合溶液制备** 用甲醇将竹醋液稀释至 10 倍、50 倍和 200 倍后,再以稀释后的竹醋液为溶剂,配制浓度为 1 400 mg·L<sup>-1</sup> 的印楝素溶液。准确吸取 15 μL 均匀涂布在石英玻片上,待溶剂挥干后,备用。

**1.5.3 高压汞灯光照** 将上述玻片用夹子固定后置于旋转式光解仪内,照光时玻片距光源 10 cm,以冷水回流控制光源温度,每处理重复 3 次,设黑暗对照,不同光照时间取出玻片,玻片于 10 mL 甲醇中超声提取 10 min,提取液过 0.22 μm 滤膜,待测。

**1.6 对氨基苯甲酸 (抗光剂) 对印楝素 A 光解影响** 配制印楝素 A 与不同浓度对氨基苯甲酸的混合溶液,使印楝素 A 的最终质量浓度为 30 mg·L<sup>-1</sup>,对

氨基苯甲酸的最终质量浓度分别为 30、100 和 600 mg·L<sup>-1</sup>。高压汞灯光照方法, 同 1.4.3。

### 1.7 不同 pH 值对印楝素 A 光解的影响

竹醋液稀释 30 倍、100 倍、600 倍和 1 000 倍, 其 pH 值分别为 3.4、3.7、4.1 和 5.6。为明确 pH 值对印楝素 A 光解的影响, 用磷酸和水配制成相应 pH 值的磷酸溶液, 印楝素 A 在上述 pH 值的磷酸溶液中照光, 高压汞灯光照方法, 同 1.4.3。

### 1.8 计算公式<sup>[15]</sup>

农药的光解, 采用一级动力学方程描述:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$$

式中:  $k$  为光解速率常数;  $C_0$  为农药的初始浓度,  $C_t$  为  $t$  时刻农药在溶液中的质量浓度 (mg·L<sup>-1</sup>)。当农药光解 50% 时, 即  $C_t = C_0/2$  时, 所需的时间即为光解半衰期, 以  $t_{1/2}$  表示,  $t_{1/2} = \ln 2/k$

差异显著性分析是用统计软件 (statistical product and service solutions, SPSS) 在  $P=0.05$  时用单因素方差分析和邓肯显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 检测方法的准确度和精密度

在优化后的色谱条件下, 分别以 5 mg·L<sup>-1</sup> 的印楝素 A 和咪鲜胺标准溶液为样品, 连续进样 6 次, 对其峰面积进行统计分析, 计算出印楝素 A 和咪鲜胺峰面积的相对标准偏差分别为 0.03% 和 0.51%。以添加回收的方式, 进行方法准确度的评价。分别在空白玻片上添加咪鲜胺或印楝素 A 的质量均为 10 μg、20 μg 和 50 μg, 待溶剂挥干后, 将玻片置于 10 mL 甲醇中超声提取 10 min, 每个处理设 6 个重复, 检测结果表明, 印楝素 A 和咪鲜胺在玻片上的添加回收率在 92.30%~97.35% 之间, 相对标准偏差范围为 0.63%~2.23%, 因此, 实验方法准确可靠。

### 2.2 竹醋液对水溶液中咪鲜胺光解的影响

咪鲜胺与不同浓度的竹醋液混合后, 经高压汞灯照光, 检测结果见表 1。

表 1 不同稀释倍数竹醋液对水溶液中咪鲜胺光解的影响

Table 1 The effect of diluted bamboo vinegar on the photodegradation of prochloraz in aqueous solution

竹醋液稀释倍数 Dilution	一级动力学方程 First-order kinetic equation	决定系数 $R^2$	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$ Rate constant	半衰期/min Half-life
超纯水 (Pure water)	$C_t = 5.1714e^{-0.146t}$	0.9876	0.146	4.75 <sup>a</sup>
200 倍 (1:200 dilution)	$C_t = 4.9356e^{-0.082t}$	0.9958	0.082	8.45 <sup>b</sup>
50 倍 (1:50 dilution)	$C_t = 4.7302e^{-0.043t}$	0.9979	0.043	16.12 <sup>c</sup>
10 倍 (1:10 dilution)	$C_t = 4.9451e^{-0.037t}$	0.9883	0.037	18.73 <sup>d</sup>

表 2 不同稀释倍数竹醋液对水中印楝素 A 的光解影响

Table 2 The effect of diluted bamboo vinegar on the photodegradation of azadirachtin A in aqueous solution

竹醋液稀释倍数 Dilution	一级动力学方程 First-order kinetic equation	决定系数 $R^2$	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$ Rate constant	半衰期/min Half-life
超纯水 (Pure water)	$C_t = 3.7158e^{-0.155t}$	0.9011	0.155	4.47 <sup>a</sup>
600 倍 (1:600 dilution)	$C_t = 4.3352e^{-0.155t}$	0.9536	0.155	4.47 <sup>a</sup>
100 倍 (1:100 dilution)	$C_t = 4.7681e^{-0.101t}$	0.9009	0.101	6.86 <sup>b</sup>
30 倍 (1:30 dilution)	$C_t = 5.1087e^{-0.064t}$	0.9621	0.064	10.83 <sup>c</sup>

表 3 竹醋液对咪鲜胺和印楝素 A 在玻片表面光解的影响

Table 3 The effect of bamboo vinegar on the photodegradation of azadirachtin A and prochloraz on the glass surface

竹醋液稀释 Dilution	咪鲜胺 Prochloraz			印楝素 A Azadirachtin A		
	一级动力学方程 First-order kinetic equation	决定系数 ( $R^2$ )	半衰期/min Half-life	一级动力学方程 First-order kinetic equation	决定系数 $R^2$	半衰期/min Half-life
甲醇 (Methanol)	$C_t = 1.9939e^{-0.270t}$	0.9886	2.57 <sup>a</sup>	$C_t = 2.3884e^{-0.243t}$	0.9648	2.85 <sup>a</sup>
200 倍 (1:200 dilution)	$C_t = 1.9214e^{-0.221t}$	0.9975	3.14 <sup>b</sup>	$C_t = 2.0038e^{-0.226t}$	0.9575	3.07 <sup>b</sup>
50 倍 (1:100 dilution)	$C_t = 1.9911e^{-0.205t}$	0.9693	3.38 <sup>c</sup>	$C_t = 1.7783e^{-0.197t}$	0.9605	3.52 <sup>c</sup>
10 倍 (1:100 dilution)	$C_t = 2.2278e^{-0.121t}$	0.9920	5.73 <sup>d</sup>	$C_t = 1.6344e^{-0.168t}$	0.9187	4.13 <sup>d</sup>

由表 1 可知, 咪鲜胺与稀释 200 倍、50 倍和 10 倍的竹醋液混合照光后, 其光解半衰期分别为

8.45 min, 16.12 min 和 18.73 min, 随着竹醋液浓度的增高, 咪鲜胺的光解半衰期显著延长。和超纯水

对照相比, 稀释 10 倍的竹醋液, 能延长咪鲜胺的光解半衰期 3.94 倍, 表现出明显的光猝灭作用。

### 2.3 竹醋液对水中印楝素光解的影响

以植物源杀虫剂印楝素 A 为供试农药, 把不同浓度的竹醋液添加到印楝素 A 的水溶液中, 在高压汞灯的照射下, 用超高效液相色谱检测水溶液中印楝素 A 的光解半衰期, 结果见表 2。

由表 2 可看出, 在高压汞灯下, 印楝素 A 在纯水中的光解半衰期为 4.47 min, 当印楝素 A 与稀释 30 倍的竹醋液混合后, 印楝素 A 的光解半衰期为 10.83 min, 比纯水的光解半衰期延长了 2.42 倍。因此, 竹醋液在高压汞灯 (紫外光) 下对印楝素 A 生物农药具有光稳定剂作用。

### 2.4 在玻片表面竹醋液对咪鲜胺、印楝素 A 的光解影响

在玻片上, 添加印楝素 A 的质量为 21.0  $\mu\text{g}$ , 咪鲜胺 19.4  $\mu\text{g}$ , 不同稀释倍数的竹醋液分别与咪鲜胺和印楝素 A 混合, 溶剂挥干后, 经高压汞灯照光, 检测结果见表 3。

由表 3 可知, 在玻片表面, 不同浓度的竹醋液对咪鲜胺和印楝素 A 的光解均产生抑制效果, 稀释 10 倍、50 倍和 200 倍的竹醋液, 对咪鲜胺的光解半衰期分别为 5.73 min、3.38 min 和 3.14 min 显著高于甲醇对照样品。和对照相比, 稀释 10 倍的竹醋液能使咪鲜胺的半衰期延长 2.23 倍, 使印楝素 A 的半衰期延长 1.45 倍。

表 4 不同 pH 值对印楝素 A 光解的影响

Table 4 The effect of pH on the photodegradation of aqueous azadirachtin A

pH	一级动力学方程 First-order kinetic equation	决定系数 $R^2$	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$ Rate constant	半衰期/min Half-life
3.4	$C_t=4.3230e^{-0.221t}$	0.9787	0.221	3.14
3.7	$C_t=4.1937e^{-0.202t}$	0.9506	0.202	3.43
4.1	$C_t=4.3066e^{-0.172t}$	0.9686	0.172	4.03
5.6	$C_t=4.5929e^{-0.145t}$	0.9821	0.145	4.78

表 5 高压汞灯下抗光剂 PABA 对水中印楝素 A 光解的影响

Table 5 The effect of PABA on the photodegradation of azadirachtin A in aqueous solution

抗光剂浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ PABA	一级动力学方程 First-order kinetic equation	决定系数 $R^2$	速率常数 $k/\text{min}^{-1}$ Rate constant	半衰期/min Half-life
0	$C_t=3.7158e^{-0.155t}$	0.9011	0.155	4.47
30	$C_t=4.4961e^{-0.086t}$	0.9875	0.086	8.06
100	$C_t=4.8232e^{-0.045t}$	0.9673	0.045	15.40
600	$C_t=4.8021e^{-0.010t}$	0.9769	0.010	69.31

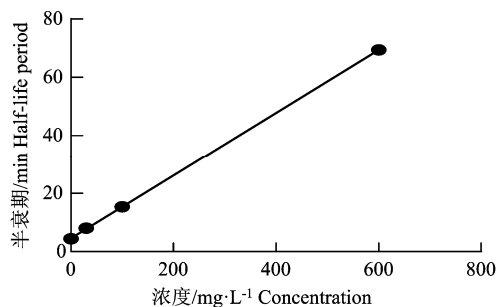


图 1 对氨基苯甲酸的浓度与印楝素 A 光解半衰期的关系  
Figure 1 The linear relationship between the concentration of PABA and the photodegradation half-life of azadirachtin A

### 2.5 pH 值对印楝素 A 光解的影响

经 pH 计测定, 竹醋液稀释 30 倍、100 倍、600 倍和 1 000 倍的 pH 值依次为 3.4、3.7、4.1 和 5.6。印楝素 A 在上述 pH 值磷酸溶液中光解情况见表 4。

由表 4 可知, 印楝素 A 在不同 pH 值的磷酸溶液中的光解, 符合一级动力学方程, 在 pH 值 3.4、4.1 和 5.6 的溶液中的半衰期分别为 3.14、4.03 和 5.78 min, 降解速率随着 pH 值的升高而变慢, 说明印楝素 A 在酸性条件下更容易降解。

### 2.6 对氨基苯甲酸对印楝素 A 光解的影响

对氨基苯甲酸 (PABA) 是一种化学抗光剂, 具有延缓农药光解的作用。为进一步量化竹醋液对印楝素 A 的光猝灭效果, 选择对氨基苯甲酸作为对照。在高压汞灯下, 对氨基苯甲酸对印楝素 A 光解的影响, 结果见表 5。

由表 5 看出, 随着化学抗光剂 PABA 浓度的增加, 对印楝素 A 光解的抑制明显增强。为明确抗光剂浓度和半衰期之间的相关关系, 以对氨基苯甲酸的浓度为横坐标 (x), 印楝素 A 的光解半衰期为纵坐标 (y) 进行线性回归分析, 结果见图 1。

由图 1 可看出,在高压汞灯下,对氨基苯甲酸的浓度与印楝素 A 的光解半衰期之间呈良好的线性关系,线性方程为  $y=0.1078x+4.6364$ , 相关系数  $R^2=1.000$ 。从表 2 看出,印楝素 A 在稀释 30 倍的竹醋液中的光解半衰期是 10.83 min, 根据线性方程,计算出稀释 30 倍的竹醋液相当于浓度为  $57.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  对氨基苯甲酸的抗光效果。该研究结果对于竹醋液作为光稳定剂在生产应用提供使用剂量参考。

### 3 讨论与结论

在高压汞灯下,竹醋液对印楝素 A 和咪鲜胺均具有显著的光猝灭效果,其中,印楝素 A 在纯水中的光解半衰期为 4.47 min, 当印楝素 A 与稀释 30 倍的竹醋液混合后,其光解半衰期为 10.83 min, 半衰期延长了 2.42 倍。印楝素 A 和咪鲜胺的光解半衰期与竹醋液浓度呈现剂量-效应关系。稀释 30 倍的竹醋液相当于化学抗光剂对氨基苯甲酸  $57.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的抗光效果。虽然竹醋液的酸性条件有利于印楝素 A 的光解,但竹醋液仍表现出显著的抗光效果,说明竹醋液复杂的化学成分,对农药的光稳定性起到关键作用,相关机理有待于进一步研究。

以往有关印楝素 A 和咪鲜胺的光解研究均有报道,邹雅竹和龚道新研究了不同水体对咪鲜胺的光解的影响,发现在稻田水中光解速率最快,而在纯水中光解速率较慢<sup>[16]</sup>。Aktar 等研究了水溶液的不同 pH 值对咪鲜胺光解的影响,发现中性条件下 (pH=7.0) 咪鲜胺对光的稳定性较好<sup>[17]</sup>。由于印楝素 A 易光解,在寻找光稳定剂方面,Johnson 等研究发现亚油酸具有延缓印楝素 A 光解的效果,而亚麻籽油、蓖麻油和橄榄油等均对印楝素 A 的光解无延缓作用<sup>[18]</sup>。研究表明,以海藻酸钠为基质的印楝素 A 缓释剂,能够有效提高印楝素 A 的光稳定性<sup>[12]</sup>。

在农药制剂中,添加化学抗光剂会增加成本以及对环境产生不良影响,限制了化学光稳定剂的应用,因此,以植物提取物作为有效成分的光稳定剂受到关注,Eyheraguibel 等研究了葡萄提取物对除草剂磺草酮的光解影响,结果表明,葡萄提取物能够增加磺草酮的持效期,在相同防效下,能减少 35% 施药量<sup>[19]</sup>。因此,将竹醋液作为植物源抗光剂应用在农药助剂领域具有广阔前景。

### 参考文献:

[1] HUO Y, LIU Z, XUAN H, et al. Effects of bamboo vine-

gar powder on growth performance and mRNA expression levels of interleukin-10, interleukin-22, and interleukin-25 in immune organs of weaned piglets[J]. Anim Nutr, 2016, 2(2): 111-118.

- [2] 黄漫青, 韦强, 张海英, 等. 竹醋对红色甜椒贮藏中活性氧代谢的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 109-113.
- [3] 郭国胜, 李敏, 应国清. 竹醋液抑菌活性及其稳定性研究[J]. 浙江工业大学学报, 2011, 39(1): 44-46.
- [4] HO C L, LIN C Y, KA S M, et al. Bamboo vinegar decreases inflammatory mediator expression and NLRP3 inflammasome activation by inhibiting reactive oxygen species generation and protein kinase C- $\alpha/\delta$  activation[J]. PLoS One, 2013, 8(10): e75738.
- [5] 崔宇, 吴良如. 我国竹醋液发展现状和展望[J]. 竹子研究汇刊, 2010, 29(1): 11-16.
- [6] 巫厚长, 涂徐孙, 程雪尧, 等. 竹醋液对田间防治斜纹夜蛾和茶小绿叶蝉的增效研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(7): 381-383.
- [7] 魏琦, 岳永德, 汤锋, 等. 竹醋液抑菌活性及对杀菌剂的增效作用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(13): 6923-6925.
- [8] MULLIGAN R A, REDMAN Z C, KEENER M R, et al. Photodegradation of clothianidin under simulated California rice field conditions[J]. Pest Manag Sci, 2015, 72(7): 1322-1327.
- [9] 欧晓明, 王晓光, 柳爱平, 等. 3 种化学物质对新农药硫脲醚光解的影响[J]. 农药, 2007, 46(1): 43-45.
- [10] NGUYEN H M, HWANG I C, PARK J W, et al. Photoprotection for deltamethrin using chitosan-coated beeswax solid lipid nanoparticles[J]. Pest Manag Sci, 2012, 68(7): 1062-1068.
- [11] 王秋芬, 宋湛谦, 阎新华. 生物农药印楝素的光稳定性研究[J]. 江苏农业科学, 2004(4): 52-54.
- [12] FLORES-CÉSPEDES F, MARTÍNEZ-DOMÍNGUEZ G P, VILLAFRANCA-SÁNCHEZ M, et al. Preparation and characterization of azadirachtin alginate-biosorbent based formulations: water release kinetics and photodegradation study[J]. J Agr Food Chem, 2015, 63(38): 8391-8398.
- [13] 袁小雅, 彭梓, 周慧平, 等. 香蕉中咪鲜胺的消解动态及安全性评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2016 (1): 209-214.
- [14] 洪艳霞. 咪鲜胺与异菌脲混配对辣椒枯萎病菌和西瓜枯萎病菌的增效作用[J]. 山西农业科学, 2016, 44(3): 382-384.
- [15] 花日茂, 徐利, 吴祥为, 等. 表面活性剂对水中乙草胺光解的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 1049-1053.
- [16] 邹雅竹, 龚道新. 咪鲜胺在水中的光化学降解研究[J]. 农药科学与管理, 2006, 27(2): 27-30.
- [17] AKTAR M, SENGUPTA D, PURKAIT S, et al. Degradation dynamics and dissipation kinetics of an imidazole fungicide (Prochloraz) in aqueous medium of varying pH[J]. Interdiscip Toxicol, 2008, 1(3/4): 203-205.
- [18] JOHNSON S, PATRA D, DUREJA P. Effect of fatty acids and oils on photodegradation of azadirachtin-A[J]. J Environ Sci Heal B, 2000, 35(4): 491-501.
- [19] EYHERAGUIBEL B, RICHARD C, LEDOIGT G, et al. Inhibition of herbicide photodegradation by plant products[J]. J Agr Food Chem, 2011, 59(9): 4868-4873.