

喷雾和灌根施药后吡虫啉在草莓植株中的分布及其对草莓蚜虫的防效

杨庆喜¹, 李东阳¹, 纪明山¹, 张志宏², 谷祖敏^{1*}

(1. 沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866; 2. 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110866)

摘要 采用喷雾和灌根两种施药方法, 设置高、低两个浓度, 测定吡虫啉在草莓植株中的分布及对草莓蚜虫的防效。结果表明, 喷雾处理区, 草莓叶片中吡虫啉初始沉积量高于茎, 叶片中滞留的吡虫啉消解较快, 而茎中消解较慢; 灌根处理区, 叶片中吡虫啉积累量于药后 7 d 达到最大值, 之后缓慢减少, 茎中吡虫啉持留量在药后 1~28 d 相对稳定。随着时间推移, 不同施药方法对蚜虫的防效不同。喷雾法短期防效(7 d 内)优于灌根法, 但持效期较短。灌根施药法速效性较差, 但持效期长, 药后 7~28 d 防效保持在 70% 以上。同时, 随着施药浓度的增加, 灌根法的速效性有良好的提升。

关键词 草莓; 灌根法; 吡虫啉; 蚜虫; 防效

中图分类号: S 436.68 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018378

Systemic distribution of imidacloprid in strawberry plant and its control effect against aphid with foliar spraying or root drenching

YANG Qingxi¹, LI Dongyang¹, JI Mingshan¹, ZHANG Zhihong², GU Zumin¹

(1. College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract Systemic distribution of imidacloprid in strawberry plants and its control effect on strawberry aphids were investigated by foliar spraying and root drenching with imidacloprid at high and low concentrations, respectively. The results showed that in spray treatment area, the original deposition of the imidacloprid in strawberry leaves was higher than that in stems, but degraded faster in leaves. In root drenching treatment area, the accumulation of imidacloprid in leaves reached the maximum at 7th day after treatment, and then decreased slowly. The retention of imidacloprid in stems was relatively stable 1–28 days after root-drenching. As time went on, the control effect of imidacloprid on aphids under the two treatments was different. Spraying of imidacloprid showed a better control effect on aphids within 7 d than root drenching, but the effective duration was shorter. The root drenching of imidacloprid acted slower but showed a longer effective duration, and the control effect remained above 70% 7–28 days after application. Meanwhile, with the increase of pesticide concentration, the instant efficacy of root drenching method was improved.

Key words strawberry; root drenching; imidacloprid; aphid; control effect

草莓, 果实酸甜可口, 营养价值丰富, 可以提供人体所必需的维生素 C、铁、钾等元素^[1]。蚜虫是草莓生产过程常发的主要害虫之一。为害草莓的蚜虫主要是桃蚜 *Myzus persicae*、棉蚜 *Aphis gossypii* 和草莓根蚜 *Aphis forbesi*。蚜虫吸食植物汁液影响植物生长发育, 同时还传播植物病毒, 对草莓的产

量及品质造成严重的影响^[2-4]。吡虫啉为新烟碱类杀虫剂, 其杀虫谱广, 具有触杀、胃毒两种作用方式, 并具有很好的内吸活性, 是防治草莓上蚜虫的特效药剂之一^[5-7]。目前田间施用吡虫啉主要以喷雾为主, 但喷雾施药的持效期短, 需多次用药, 具有加剧环境污染, 伤害有益生物和天敌的风险。有研究表明吡虫

啉对蜜蜂的生长发育及学习行为等有严重的影响^[8-10]。

鉴于此,亟待寻求安全有效的吡虫啉施用技术。

灌根施药对靶标昆虫持效期较长,且对有益生物和天敌友好。吡虫啉良好的内吸性为灌根处理提供了理论支持^[6-7]。Fletcher 等^[11]研究了吡虫啉灌根防治亚洲柑橘木虱 Asian citrus psyllid 和柑橘潜叶蛾 citrus leafminer,持效期长达 4~8 周;童超等^[12]研究指出吡虫啉灌根处理对辣椒上桃蚜的防效长达 40 d。综上,灌根是吡虫啉防治靶标昆虫的有效施用方式。本试验选用对蚜虫有良好防治效果的内吸性杀虫剂吡虫啉,比较喷雾和灌根两种施药方式下吡虫啉在草莓不同组织内的持留动态,揭示灌根施用方式下吡虫啉被草莓植株吸收及在植株中的持留规律,同时比较两种施用方式下吡虫啉对草莓蚜虫的防效,旨在探索草莓蚜虫防治新方法,为吡虫啉的田间合理应用提供技术参考与理论支持。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试作物:‘艳丽’草莓;供试昆虫:蚜虫,以桃蚜为主;试验药剂:70%吡虫啉(imidacloprid)水分散粒剂,山东省联合农药工业有限公司生产。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设置

试验在沈阳农业大学温室草莓大棚进行,共设 5 个小区,每个小区 10 m²,移栽 80 株草莓。喷雾和灌根分别设置高、低浓度处理小区,小区间设有保护带,每处理设置两个重复。以推荐吡虫啉在草莓上的最高剂量 37.5 g/hm² 为试验的低浓度处理剂量,以 3 倍低浓度剂量即 112.5 g/hm² 为高浓度处理剂量。待草莓果实生长至成熟个体一半大小时以喷雾和灌根两种施药方法进行施药。喷雾处理区采用农用 3WBD-16B 型电动喷雾器,施药量为 4 L;灌根处理区于草莓根部周围将配好的药液均匀灌入根部,总施药量为 4 L。

1.2.2 两种施药方式下吡虫啉持留动态

分别于施药后 1、2、3、5、7、10、14、21、28 d 后采集成熟叶片,去掉干枯的叶,将主茎和叶片分开,茎、叶片样品分别混匀后各称取 3 份,每份 100 g 于封口袋中真空密封,于-20℃冰柜中保存,用以测量吡虫啉在叶片中的持留量。

1.2.2.1 试剂与仪器

Agilent1290-6460 液相色谱串联三重四级杆质谱仪和 MassHunter 工作站软件,美国 Agilent 公司;超纯水仪,美国 Millipore 公司;万分之一天平,德国 Sartorius 公司;涡旋振荡器,美国 Scientific Industries 公司;SL-200 型高速多功能粉碎机,浙江省永康市松青五金厂;高速冷冻离心机,日本 HITACHI 公司。99.5%吡虫啉(imidacloprid)标准品,拜尔中国投资有限公司;GCB、PSA 分散固相萃取吸附剂,天津博纳艾杰尔公司;无水硫酸镁和氯化钠为分析纯;乙腈、甲酸和甲醇为色谱纯。

1.2.2.2 检测条件

色谱条件^[13]:Agilent Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(2.1 mm×50 mm,1.8 μm),柱温 40℃,进样体积为 1 μL;流动相 A 为甲醇,流动相 B 为 0.2%甲酸水溶液;梯度洗脱程序起始流动相 A 为 10%,1.5 min 为 45%,1.5~2.5 min 为 65%,5 min 为 10%,流速为 0.3 mL/min。

质谱条件^[13]:电喷雾离子源(ESI⁺);99.95%氮气为干燥气体,99.999%氮气为碰撞气体;母离子为 255.1,子离子为 209.1 和 175.1,其中定量离子对为 255.1>209.1,碰撞电压为 4 V,正离子多反应监测模式(MRM)。

1.2.2.3 样品前处理方法

将茎和叶片样品分别用高速粉碎机打碎成粉末。分别准确称取 5 g(精确至 0.01 g)叶片、茎粉末于 50 mL 具塞离心管中。加入 5 mL 超纯水,涡旋 30 s 后加入 5 mL 乙腈提取液,涡旋 3 min;然后加入盐包(叶片:1 g 氯化钠+4 g 无水硫酸镁;茎:2 g 氯化钠+3 g 无水硫酸镁),振荡,涡旋 1 min 后 5 000 r/min 离心 5 min;取上清液 1.5 mL 转入含有净化剂的 2 mL 离心管中(叶片:150 mg 无水硫酸镁+50 mg GCB+20 mg PSA;茎:150 mg 无水硫酸镁+30 mg GCB+20 mg PSA),涡旋 1 min 后于 5 000 r/min 下离心 5 min;取上清液,过 0.22 μm 有机滤膜,待测。

1.2.2.4 标准曲线绘制

准确称取 0.01 g(精确至 0.000 1 g)的 99.5%吡虫啉标准品,用乙腈溶解并准确定容至 100 mL,配制成 100 mg/L 的吡虫啉标准储备液,于 4℃下避光保存。用乙腈逐级稀释成 0.05、0.1、0.5、1、2、5 mg/L 的标准工作液,现配现用。

分别称取 5 g 的空白样品,按照样品前处理方

法,提取净化。用空白提取液逐级稀释,配制成基质匹配标准溶液。

采用外标法定量,以基质标准溶液质量浓度为横坐标,监测定量离子对的峰面积为纵坐标,绘制标准工作曲线。

1.2.3 两种施药方式下吡虫啉对草莓上蚜虫的防治效果

施药前每小区取 5 点进行定点调查,每点调查 5 株草莓叶片上蚜虫数作为蚜虫基数。在施药后 1、2、3、5、7、10、14、21、28、35 d 分别调查各点活虫数,计算吡虫啉对草莓蚜虫的防治效果。

$$\text{防治效果} = [1 - (\text{CK}_0 \times \text{PT}_1) / (\text{CK}_1 \times \text{PT}_0)] \times 100\%$$

式中,PT₀ 为药剂处理区施药前活虫数;PT₁ 为药剂处理区施药后活虫数;CK₀ 为空白对照区施药前活虫数;CK₁ 为空白对照区施药后活虫数。

2 结果与分析

2.1 方法的确定

2.1.1 方法的线性范围与基质效应

在 0.05~5 mg/L 范围内,吡虫啉在草莓叶片、茎中的质量浓度与对应的响应值间呈良好的线性关系,

决定系数(R²)> 0.9996。试验采用外标法基质匹配标准曲线定量消除基质效应,此法效果良好,廉价、操作简便^[14]。从表 1 可以看出,吡虫啉在草莓叶片、茎中均为基质减弱效应,分别为-10.61%、-28.76%。

表 1 吡虫啉在两种基质中的线性范围及基质效应
(线性范围:0.05~5 mg/L)

Table 1 Linear range and matrix effect of imidacloprid in two matrices (linear range: 0.05-5 mg/L)

基质 Matrix	线性回归方程 Regression equation	R ²	基质效应/% Matrix effect
乙腈 Acetonitrile	y=31 035x+51.367	1.000 0	—
叶片 Leaf	y=27 743x-1 012.4	0.999 6	-10.61
茎 Stem	y=22 108x-953.72	0.999 6	-28.76

2.1.2 方法的准确度和精密度

在草莓叶片、茎空白样品中进行 3 个浓度水平的添加回收试验。从表 2 可以看出,0.05、0.5、1 mg/kg 添加水平下,吡虫啉在叶片中的平均回收率为 92.6%~109.2%,相对标准偏差(RSD)为 1.1%~9.1%;在茎中的平均回收率为 89.7%~101.7%,RSD 为 0.3%~3.9%。数据表明该分析方法准确性和稳定性满足农药残留分析的要求^[15]。

表 2 吡虫啉在两种基质中的平均添加回收率和相对标准偏差

Table 2 Recovery and relative standard deviation of imidacloprid in two matrices

基质 Matrix	添加水平/mg·kg ⁻¹ Spiked level	添加回收率/% Recovery					平均值 Average	相对标准偏差/% RSD
		1	2	3	4	5		
叶片 Leaf	0.05	87.5	95.3	88.9	85.4	106.2	92.6	9.1
	0.50	109.1	107.6	108.6	110.0	110.7	109.2	1.1
	1.00	108.3	107.6	101.1	100.7	99.0	103.3	4.2
茎 Stem	0.05	101.7	95.7	96.9	100.3	105.4	101.7	3.9
	0.50	88.9	89.4	89.0	91.3	89.9	89.7	1.0
	1.00	93.4	93.1	93.7	93.0	92.9	93.2	0.3

2.2 两种施药方式下吡虫啉的持留量动态

图 1 可以看出,喷雾施药后吡虫啉在叶片中初始沉积量较高,随着时间的延长持留量迅速减少,药后 7 d 消解率近 50%,药后 28 d 消解率达 90%以上;茎中初始沉积量较叶中少,消解速率较慢。高、低浓度处理后吡虫啉在茎、叶中消解动态趋势相同。随着施药浓度的增加,叶片和茎中吡虫啉的初始沉积量增加,同时降解速率加快。在与喷雾法理论单株有效成分用量相同的条件下,灌根施用吡虫啉,草莓叶片中的积累量随时间的延长而增加,低浓度施药后 10 d 积累量达到最大值,为 0.34 mg/kg、高浓度药后 7 d 达到最大值,为 0.79 mg/kg,之后缓慢减

少;灌根处理后,草莓茎部药后 1~28 d 持留量相对稳定。低浓度下药剂积累量于 7 d 达到最大值,为 0.21 mg/kg;高浓度于药后 5 d 达到最大值,为 0.25 mg/kg,之后积累量缓慢减少。由此结果表明,吡虫啉于根部施药后,药剂能被根系吸收并向上传输,且向上传导的过程中,茎内不积蓄大量药剂,仅作为药剂运输的“通道”。

2.3 吡虫啉两种施药方式对草莓蚜虫的防效

吡虫啉喷雾施药对草莓蚜虫的早期防效较好,药后 1~5 d 对蚜虫防效超过 89%,且随着施药浓度的增加,防效也显著增加。随着时间的延长,防效降低,表现出较差的“持效性”,药后 5 d 低浓度喷雾处

理区防效开始下降,药后 14 d 下降至 67%,药后 28 d 防效仅有 12%;高浓度喷雾处理区虽较低浓度处理区防效好,但药后 7 d 防效也开始下降,药后 28 d,防效只有 41%。结果(图 2)显示,喷雾法防治草莓蚜虫,持效期为 7~10 d。灌根处理虽对草莓蚜虫的速效性较差(药后 3 d 高浓度灌根处理区防效只有 50%),但药后 7 d,低、高浓度处理区防效均达 80%以上,药后 21 d,低、高浓度灌根处理区防效分别为 77%和 92%,药后 35 d 低、高浓度处理区防效仍保持在 50%以上。灌根处理对草莓蚜虫的持效期要显著长于喷雾处理。

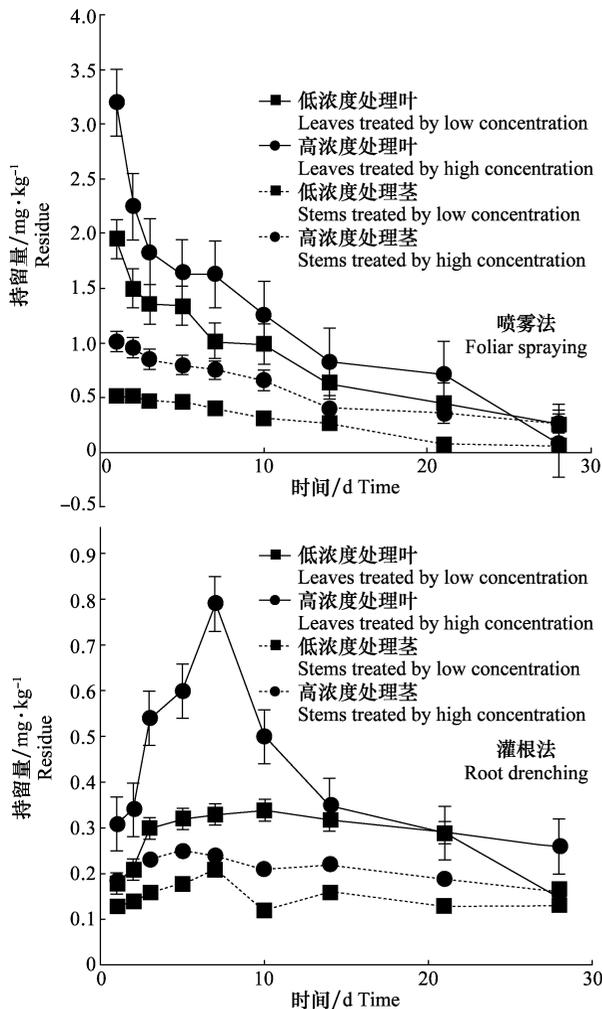


图 1 喷雾法及灌根法施药后叶、茎内吡虫啉的持留量
Fig. 1 Residues of imidacloprid in leaves and stems after application by foliar spraying and root drenching

3 结论与讨论

喷雾施药后吡虫啉在叶片中的持留量较高,随着施药浓度的增加持留量也显著增加,最高达 3.20 mg/kg。相反,灌根施药后吡虫啉在叶片沉积量最高只有

0.79 mg/kg。谭阳等^[16]的研究发现,采用喷雾法施用吡虫啉后其在枸杞蜜中残留超标率达 7.83%。由此结果可推断,大棚内喷雾施用吡虫啉后,药剂在草莓花蕾中的持留量可能较高,会增加对传粉蜜蜂及食用人群的风险。灌根施药后吡虫啉被植物根系吸收并向上传导,与喷雾法相比,花蕾中吡虫啉的持留量可能相对较少,可降低对蜜蜂的毒害作用,但根部施药后药剂主要集中于土壤,对土壤中有益生物的毒害作用尚有待进一步研究。

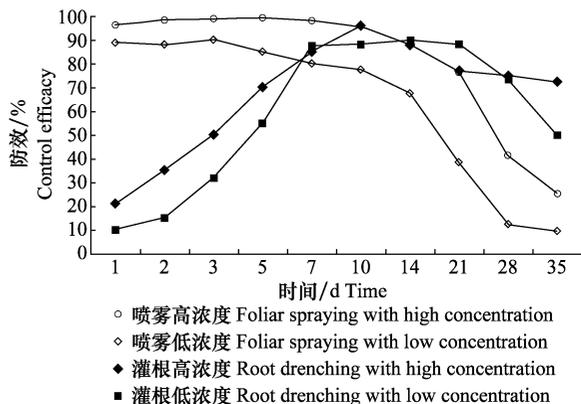


图 2 两种施药方式下高、低浓度的吡虫啉对草莓蚜虫的防效

Fig. 2 Control effect of imidacloprid at high and low concentrations on strawberry aphids under two application methods

灌根施药是内吸性药剂特有的一种施药方式。根部施药后,根系吸收药剂通过“生物抽提”的方式运输到作用部位对害虫起毒杀作用^[7]。吡虫啉是一种强内吸性药剂,能够在木质部自下而上地向枝端运输。关于吡虫啉灌根施药防治害虫早有报道。宗建平^[17]研究了灌根和喷雾两种施药方式下吡虫啉对番茄植株上烟粉虱的防治效果,结果显示喷雾处理速效性较好,但持效期短,药后 7 d 防效大幅下降。相反,灌根处理后吡虫啉对烟粉虱的持效期长达 14 d。本试验研究结果表明,灌根处理区在施药后 7~28 d 防效在 70%以上,且随着施药浓度的增加,灌根处理区速效性有所提高,持效期更长。由此可见,在草莓蚜虫盛发期前灌根施药可以有效防治蚜虫,此法可减少施药次数,从而节省人力物力。

参考文献

- [1] 罗学兵,贺良明. 草莓的营养价值与保健功能[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(4): 74-76.

- [2] 廖建明. 草莓蚜虫的发生规律与防治对策[J]. 内蒙古农业科技, 2007(1): 111 - 112.
- [3] 李伟龙, 胡美华. 图说草莓栽培与病虫害防治[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2013.
- [4] 罗明云, 巫箭, 林燕春. 草莓设施栽培病虫害综合防治技术[J]. 现代农业科技, 2011(17): 162 - 163.
- [5] 王圣印, 刘永杰, 周仙红, 等. 新烟碱类杀虫剂吡虫啉的研究进展[J]. 江西农业学报, 2012, 24(3): 76 - 79.
- [6] SIMMS L C, ESTER A, WILSON M J. Control of slug damage to oilseed rape and wheat with imidacloprid seed dressings in laboratory and field experiments[J]. Crop Protection, 2005, 25(6): 549 - 555.
- [7] EL-HAMADY S E, KUBIAK R, DERBALAH A S, et al. Fate of imidacloprid in soil and plant after application to cotton seeds[J]. Chemosphere, 2008, 71(11): 2173 - 2179.
- [8] 谭丽超, 卜元卿, 程燕, 等. 吡虫啉对蜜蜂幼虫的室内毒性研究[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(4): 253 - 257.
- [9] DÉGLISE P, GRÜNEWALD B, GAUTHIER M. The insecticide imidacloprid is a partial agonist of the nicotinic receptor of honeybee Kenyon cells[J]. Neuroscience Letters, 2002, 321(1): 13 - 16.
- [10] 季守民. 新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的毒性评价及亚致死效应[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [11] FLETCHER E, MORGAN K T, QURESHI J A, et al. Imidacloprid soil movement under micro-sprinkler irrigation and soil-drench applications to control Asian citrus psyllid (ACP) and citrus leafminer (CLM) [J/OL]. PLoS ONE, 2018, 13(3): e0192668.
- [12] 童超. 育苗期灌根施用吡虫啉和芸苔素内酯对辣椒、桃蚜和烟蚜茧蜂的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [13] 白雪松. 吡虫啉及其代谢物 6-CNA 的消解动态及最终残留研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [14] KWON H, LEHOTAY S J, GEISASTEGGIANTE L. Variability of matrix effects in liquid and gas chromatography-mass spectrometry analysis of pesticide residues after QuEChERS sample preparation of different food crops [J]. Journal of Chromatography A, 2012, 1270(24): 235 - 245.
- [15] 农业部农药检定所. NY/T 788—2004, 农药残留试验准则[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [16] 谭阳, 孙小凤, 韩燕, 等. 西北地区四种蜜源蜂蜜的农药残留风险暴露评估[J]. 现代食品科技, 2018, 34(11): 275 - 280.
- [17] 宗建平, 魏书娟, 罗万春. 喷雾和灌根施药后吡虫啉在番茄植株中的分布及其对烟粉虱的防效[J]. 农药学报, 2009, 11(2): 219 - 224.
- (责任编辑: 杨明丽)
- ~~~~~
- (上接 208 页)
- [14] 张秀梅, 刘小京, 杨艳敏, 等. 绿盲蝽在 Bt 转基因棉及枣树上的发生规律[J]. 华东昆虫学报, 2005, 14: 28 - 32.
- [15] 姜玉英, 陆宴辉, 曾娟, 等. 农业行业标准: 盲蝽测报技术规范(第 1 部分: 棉花). NY/T2163. 1 - 2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [16] LU Yanhui, WU Kongming, WYCKHUYS K A G, et al. Temperature-dependent life history of the green plant bug, *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) (Hemiptera: Miridae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2010, 45(3): 387 - 393.
- [17] LU Yanhui, WU Kongming, WYCKHUYS K A G, et al. Potential of mungbean, *Vigna radiatus* as a trap crop for managing *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton [J]. Crop Protection, 2009, 28: 77 - 81.
- [18] LU Yanhui, JIAO Zhenbiao, WU Kongming. Early-season host plants of *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae) in northern China [J]. Journal of Economic Entomology, 2012, 105(5): 1603 - 1611.
- [19] LU Yanhui, WU Kongming, WYCKHUYS K A G, et al. Overwintering hosts of *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) in northern China [J]. Crop Protection, 2010, 29: 1026 - 1033.
- [20] 李耀发, 党志红, 高占林, 等. 河北省沧州棉区绿盲蝽在不同寄主上的动态分布[J]. 植物保护, 2009, 35(5): 118 - 121.
- [21] PAN Hongsheng, LIU Bing, LU Yanhui, et al. Identification of the key weather factors affecting overwintering success of *Apolygus lucorum* eggs in dead host tree branches [J/OL]. PLoS ONE, 2014, 9(4): e94190.
- [22] 门兴元, 于毅, 张安盛, 等. 枣-棉生态区绿盲蝽季节性发生与转移规律[C]//吴孔明. 植保科技创新与病虫防控专业化—中国植物保护学会 2011 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011: 213 - 220.
- [23] 金银利, 封洪强, 张言芳, 等. 河南冬枣和葡萄上绿盲蝽种群的季节性发生规律[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 149 - 153.
- (责任编辑: 杨明丽)