

7种药剂对白皮松长足大蚜的防治效果及安全性评价

李广¹ 仲丽¹ 夏菲¹ 李娜¹ 袁菲² 车少臣¹ 王建红¹ 邵金丽¹
周江鸿¹ 张欣宇³ 张兴词⁴ 仇兰芬^{1*}

(1. 北京市园林绿化科学研究院, 园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室, 北京 100102; 2. 北京市园林绿化资源保护中心(北京市园林绿化局审批服务中心), 北京 101118; 3. 北京京林园林集团有限公司, 北京 100085; 4. 北京市房山区南梨园林场, 北京 102425)

摘要: 白皮松长足大蚜 *Cinara bungeanae* Zhang et Zhang 是危害白皮松 *Pinus bungeana* Zucc. ex Endl. 的主要刺吸性害虫, 严重影响树体健康和景观效果。为科学开展白皮松长足大蚜防治工作, 本研究通过多项试验, 评价了7种药剂对白皮松长足大蚜的防治效果, 筛选出3种药效较好的药剂, 并进一步评估这3种药剂对刺吸性害虫5种常见天敌昆虫的安全性。结果表明: 22% 氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液、17% 氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液、2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液对白皮松长足大蚜具有较好的防效和速效性, 但对天敌昆虫也有一定影响, 使用时应避开瓢虫 *Coccinellidae*、草蛉 *Chrysopidae* 等天敌的活动高峰期; 50 g·L⁻¹ 双丙环虫酯 DC 12 000 倍液、25% 吡蚜酮 SC 6 000 倍液速效性较低, 可在虫口密度较低时结合生物防治措施使用; 1% 苦参碱 SL 600 倍液和 22.4% 螺虫乙酯 SC 6 000 倍液对白皮松长足大蚜防效欠佳, 不建议单独使用。

关键词: 白皮松长足大蚜; 杀虫剂; 防治效果; 天敌; 安全性评价

中图分类号: S763.35 文献标识码: A 文章编号: 2097-5279(2026)02-0060-08

DOI: 10.27035/j.cnki.issn2097-5279.20260207

Evaluation of efficacy and safety of seven pesticides against *Cinara bungeanae* on *Pinus bungeana*

Li Guang¹ Zhong Li¹ Xia Fei¹ Li Na¹ Yuan Fei² Che Shaochen¹ Wang Jianhong¹ Shao Jinli¹
Zhou Jianghong¹ Zhang Xinyu³ Zhang Xingci⁴ Qiu Lanfen^{1*}

(1. Beijing Key Laboratory of Ecological Function Assessment and Regulation Technology of Green Space, Beijing Academy of Forestry and Landscape Architecture, Beijing 100102, China; 2. Beijing Municipal Forestry and Parks Resource Conservation Center (Approval Service Center of Beijing Municipal Forestry and Parks Bureau), Beijing 101118, China; 3. Beijing Jinglin Landscape Architecture Group Co., Ltd., Beijing 100085, China; 4. Nanliyuan Forest Farm, Fangshan District, Beijing 102425, China)

Abstract: *Cinara bungeanae* Zhang et Zhang is the primary piercing-sucking pest affecting *Pinus bungeana* Zucc. ex Endl, significantly compromising tree health and ornamental value. To facilitate rational pest management, this study evaluated the control efficacy of seven pesticides against *Cinara bungeanae* and assessed the safety of the three most effective compounds against five common natural enemy insects of piercing-sucking pests. Results indicated that 22% sulfoxaflor SC (30 000× dilution), 17% flupyradifurone SL (3 000× dilution), and 2% thiacloprid CS (1 500× dilution) exhibited high efficacy and rapid knockdown against *Cinara bungeanae*. However, these agents also exert measurable impacts on natural enemies; therefore, their application should be timed to avoid peak activity periods of beneficial insects such as lady beetles and lacewings. Afidopyropen DC (50 g·L⁻¹, 12 000× dilution) and 25% pymetrozine SC (6 000× dilution) demonstrated lower immediate efficacy but are suitable for integration with biological control strategies under low pest population densities. Matrine SL (1%, 600× dilution) and 22.4% spirotetramat SC (6 000× dilution) demonstrated suboptimal efficacy against the target pest and are not recommended for standalone use.

Keywords: *Cinara bungeanae* Zhang et Zhang; insecticide; control efficacy; natural enemy; safety evaluation

收稿日期: 2026-01-13; 修回日期: 2026-03-06。

基金项目: 北京市园林绿化科学研究院自选课题(YKYZD202603); 北京市科委课题(Z241100009124001)。

* 通信作者: 仇兰芬(E-mail: 280548712@qq.com), 正高级工程师。

引文格式: 李广, 仲丽, 夏菲, 等. 2026. 7种药剂对白皮松长足大蚜的防治效果及安全性评价[J]. 树木医学, 3(2): 60-67.

Li G, Zhong L, Xia F, et al. 2026. Evaluation of efficacy and safety of seven pesticides against *Cinara bungeanae* on *Pinus bungeana*[J]. Tree Health, 3(2): 60-67.

白皮松 *Pinus bungeana* Zucc. ex Endl. 是重要的园林绿化树种, 也是北京市古松的主要代表, 不仅具有历史文化意义, 而且兼具重要的生态价值(刘海军等, 2005; 刘佳, 2024)和经济价值(王佳庆, 2025)。白皮松长足大蚜 *Cinara bungeanae* Zhang et Zhang 是危害白皮松的主要刺吸性害虫, 其危害以刺吸白皮松的嫩梢和嫩枝为主, 引起针叶发黄枯萎, 严重时导致树势衰弱甚至死亡(贾婉等, 2020); 分泌的蜜露也会诱发煤污病, 影响树木健康和景观效果(马莉军, 2025)。目前, 针对白皮松长足大蚜的防治措施主要为化学防治(贾婉等, 2020)和生物防治(马莉军, 2025), 化学防治使用的常规药剂有氟啶虫酰胺、吡虫啉等(马安民, 2020), 但相关药剂的效果评价研究鲜见报道, 且化学防治存在污染环境、杀伤天敌生物以及使害虫产生抗药性等问题(魏建荣, 2004)。因此, 亟须筛选出能高效杀灭白皮松长足大蚜且对天敌安全的药剂。高效低毒的选择性杀虫剂不仅可以有效控制靶标害虫的种群数量, 也能够减少对天敌生物的危害, 保障天敌等生物因子长期持续发挥控害作用(赵金瑞, 2012)。为更好开展白皮松长足大蚜防治工作, 本研究系统测定了7种药剂对白皮松长足大蚜的防

治效果, 并开展了药剂对5种天敌昆虫的安全性评价。

1 材料与方法

1.1 试验地点和天敌昆虫来源

试验地点在北京市房山区南梨园林场(39°41'31"N, 116°05'28"E), 选择林场内白皮松长势、树龄、种植密度和地被植物相对均匀的植株, 白皮松数量不少于2 000株, 且白皮松长足大蚜发生程度达到中度以上的片林作为田间防治试验林地; 白皮松长足大蚜为该试验区自然发生种群。

天敌昆虫选择异色瓢虫 *Harmonia axyridis* Pallas、龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Thunberg、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* L.、中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* Tjeder和东亚小花蝽 *Orius sauteri* Poppius 5个种类, 均购自北京蓝狐天敌技术有限公司。在室内用人工繁育的蚕豆蚜 *Megoura crassicauda* Mordvilko 饲养, 置于温度(25±1)℃、相对湿度(65±5)%、光周期14L:10D的条件下, 继代繁殖1代后建立试验种群。选择3龄幼(若)虫进行杀虫剂防治效果评价和安全性测试。

1.2 供试药剂

试验所用7种杀虫剂均为市售产品(表1)。

表1 供试药剂种类及推荐浓度水平

Tab. 1 Types and recommended concentration levels of pesticides used for test

序号 No.	供试药剂 Test pesticides	生产厂家 Pesticide manufacturer	稀释倍数 Dilution ratio
1	1%苦参碱可溶液剂(SL)	内蒙古中农生化科技股份有限公司	600
2	50g·L ⁻¹ 双丙环虫酯可分散液剂(DC)	巴斯夫欧洲公司	12 000
3	22%氟啶虫胺胍悬浮剂(SC)	科迪华农业科技有限责任公司	10 000
4	22.4%螺虫乙酯悬浮剂(SC)	拜耳股份公司	6 000
5	17%氟吡呋喃酮可溶液剂(SL)	拜耳股份公司	1 500
6	25%吡蚜酮悬浮剂(SC)	青岛金尔农化研制开发有限公司	6 000
7	2%噻虫啉微囊悬浮剂(CS)	海利尔药业集团股份有限公司	1 500

1.3 高效杀虫药剂筛选与田间防效评价

1.3.1 不同药剂筛选试验

以在田间标记的、有白皮松长足大蚜危害的20 cm长嫩梢作为处理对象, 喷药前统计各处理枝条上的虫口数量作为虫口基数。利用手持式小型喷雾瓶(寿禾牌, 规格100 mL)进行喷药处理, 喷至均匀着雾且刚有液滴滴下为准。每种药剂为1个处理, 每处理喷施5个嫩梢作为5次重复, 并设喷施清水处理为对照。处理后1、3、5、7 d分别统计枝条上的存活虫口数, 计算虫口减退率, 并根据对照枝条上虫口的存活情况计算各处理的校正虫口减退率。计算公式

如下:

$$\text{虫口减退率}(\%) = \frac{\text{虫口基数} - \text{存活虫口数}}{\text{虫口基数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{校正虫口减退率}(\%) = \frac{\text{处理减退率} - \text{对照减退率}}{1 - \text{对照减退率}} \times 100 \quad (2)$$

1.3.2 药剂不同浓度评价试验

根据药剂初筛评价结果, 选择在推荐浓度水平下, 对白皮松长足大蚜防效达到90%及以上的药剂, 以其推荐稀释倍数为最高浓度水平, 5倍推荐稀释倍数为最低浓度水平, 在此范围内设置5个浓度梯度处

理,进行不同浓度防控效果试验。试验方法同 1.3.1。

1.3.3 药剂田间防治试验

根据 1.3.2 试验结果,选取 7 d 内防治效果达到 90% 及以上的最低浓度,针对目标害虫开展药剂田间防效评价。在试验林地内选择白皮松长势、植物配置及白皮松长足大蚜发生情况相对一致,且白皮松数量不少于 100 株的地块作为试验样地,各试验样地之间设置 3 行白皮松作为隔离带,每种药剂处理 3 个样地作为 3 次重复,同时设置清水喷施对照地块。施药设备为 BR-2.2B 车载喷雾机(北京百瑞盛田环保科技有限公司)。在各处理样地内随机选择 10 株有虫植株,每株选择东、南、西、北 4 个方位各标记 20 cm 长的有虫枝条;施药前统计虫口基数,施药后 3、7 d 分别调查标记枝条的存活虫口数,按照 1.3.1 方法计算校正虫口减退率并进行分析。

1.4 天敌昆虫安全性评价试验

采用喷雾法进行处理。根据 1.3.1 和 1.3.2 试验结果,选择在推荐浓度下对白皮松长足大蚜防效 90% 及以上的药剂,以其在处理 7 d 内达到 90% 及以上防效的最低浓度水平作为天敌安全性的处理浓度,以清水为对照。选取大小均一且健康的 3 龄天敌幼(若)虫 10 头,分别置于直径 9 cm 培养皿中,每皿采用 Potter 喷雾塔(Burkard 公司生产)定量喷施 1 mL 药剂,每种药剂喷施 5 个皿作为 5 次重复。待培养皿内药滴晾干后,放入适量蚕豆蚜进行饲喂。

处理后,定期观测、记录每皿内存活的供试天敌昆虫变化情况,并及时更换新鲜饲料。其中:七星瓢虫、异色瓢虫、龟纹瓢虫处理后 1、3、5、7 d 各观测 1 次,中华通草蛉和东亚小花蝽处理后 1、2、3 d 各观测 1 次。按 1.3.1 方法计算供试天敌昆虫的虫口死亡率和校正死亡率并进行分析。

1.5 数据处理与分析

采用 Microsoft Office Excel 2019 统计数据并制作表格,SAS 9.2 对相关数据进行方差分析,方差分析方法为最小显著性差异法(Least significant difference, LSD),显著性水平为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同药剂筛选试验结果

7 种供试药剂中,22% 氟啶虫胺胍 SC 10 000 倍液、17% 氟吡呋喃酮 SL 1 500 倍液和 2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液对白皮松长足大蚜防效最高且速效性最好,处理 1 d 后校正虫口减退率均达到 90% 以上;其次为 50 g·L⁻¹ 双丙环虫酯 DC 12 000 倍液和 25% 吡蚜酮 SC 6 000 倍液,处理 7 d 后白皮松长足大蚜的校正虫口减退率分别为 72.55% 和 74.91%,但 2 种药剂速效性较差,需 3~5 d 才能表现出防效;22.4% 螺虫乙酯 SC 6 000 倍液和 1% 苦参碱 SL 600 倍液对白皮松长足大蚜防效均欠佳,处理 7 d 后试虫的校正虫口减退率分别为 63.51% 和 42.72%。详见表 2。

表 2 7 种药剂对白皮松长足大蚜的药效试验结果

Tab. 2 The results of the efficacy test of seven kinds of pesticides against *Cinara bungeanae*

药剂 Pesticides	稀释倍数 Dilution ratio	校正虫口减退率/% Corrected pest population reduction rate			
		施药后 1 d	施药后 3 d	施药后 5 d	施药后 7 d
2% 噻虫啉 CS	1 500	97.10±1.75 a	97.55±1.59 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
1% 苦参碱 SL	600	40.82±5.54 b	47.15±5.28 c	42.74±2.25 c	42.72±6.54 d
50g·L ⁻¹ 双丙环虫酯 DC	12 000	10.79±6.84 c	64.87±3.00 b	65.97±1.96 b	72.55±3.22 bc
22% 氟啶虫胺胍 SC	10 000	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
22.4% 螺虫乙酯 SC	6 000	20.35±2.07 c	35.99±5.34 d	43.33±3.48 c	63.51±4.58 c
17% 氟吡呋喃酮 SL	1 500	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
25% 吡蚜酮 SC	6 000	8.30±6.08 c	39.33±1.62 cd	68.98±4.65 b	74.91±3.05 b

注:表中数值为平均值±标准误,同一列数据后不同小写字母表示不同药剂处理间差异显著($P<0.05$)。

Notes: The values in the table are mean±SE (standard error). Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences between different drug treatments($P<0.05$).

2.2 药剂不同浓度评价结果

根据 2.1 试验结果,选择在推荐浓度处理 7 d 后校正虫口减退率达到 90% 以上的 22% 氟啶虫胺胍 SC、17% 氟吡呋喃酮 SL 和 2% 噻虫啉 CS,进一步开展不同浓度防治效果评价试验,试验结果如表 3 所示。

17% 氟吡呋喃酮 SL 1 500~3 000 倍液、22% 氟啶虫胺胍 SC 10 000~20 000 倍液、2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液 5 个浓度处理速效性较好,施药 1 d 后白皮松长足大蚜的虫口减退率显著高于其他处理;施药 5~7 d 后,17% 氟吡呋喃酮 SL 4 500 倍液、22% 氟啶虫胺胍 SC

30 000 倍液、2% 噻虫啉 CS 4 500 倍液对白皮松长足大蚜校正虫口减退率分别达到 89.55%、96.43%、78.55%，与高浓度水平处理间无显著差异，表现出良

好的防治效果；17% 氟吡呋喃酮 SL 6 000~7 500 倍液、22% 氟啶虫胺胍 SC 40 000~50 000 倍液、2% 噻虫啉 CS 6 000~7 500 倍液 6 个浓度处理防效欠佳。详见表 3。

表 3 药剂不同浓度评价试验结果

Tab. 3 Pesticide concentration gradient test results

药剂 Pesticides	稀释倍数 Dilution ratio	校正虫口减退率/% Corrected pest population reduction rate			
		施药后 1 d	施药后 3 d	施药后 5 d	施药后 7 d
17% 氟吡呋喃酮 SL	7 500	37.79±4.22 ef	57.63±2.25 fgh	63.43±2.78 de	66.23±2.04 de
	6 000	49.91±3.51 def	65.59±6.57 defg	72.18±7.11 cde	77.04±5.71 bcd
	4 500	60.28±4.97 cde	76.99±3.99 cde	87.09±3.70 abc	89.55±1.54 abc
	3 000	76.86±6.65 abc	97.45±0.51 ab	99.30±0.38 a	99.63±0.37 a
	1 500	99.68±0.32 a	99.78±0.22 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
22% 氟啶虫胺胍 SC	50 000	29.23±2.56 f	47.21±3.35 h	51.86±6.20 e	58.74±3.12 de
	40 000	46.96±7.15 def	66.50±0.49 defg	71.11±2.84 cde	72.79±2.22 cde
	30 000	50.46±6.41 def	80.06±3.14 bcd	94.70±0.44 ab	96.43±1.81 ab
	20 000	89.04±1.09 ab	98.22±0.48 a	99.28±0.36 a	99.85±0.15 a
	10 000	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
2% 噻虫啉 CS	7 500	59.68±1.61 cde	60.84±5.82 efgh	61.22±10.03 de	54.23±17.78 e
	6 000	45.46±21.47 def	56.79±17.81 gh	60.96±20.26 de	61.47±20.14 de
	4 500	66.83±11.10 bcd	74.77±9.08 cdef	75.99±13.07 bcd	78.55±9.80 abcd
	3 000	49.88±17.34 def	78.31±5.81 cde	86.90±7.61 abc	89.78±5.54 abc
	1 500	76.24±2.33 abc	89.50±0.29 abc	92.25±2.83 abc	96.43±0.85 ab

注：表中数值为平均值±标准误，同一列数据后不同小写字母表示不同药剂处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Notes: The values in the table are mean±SE (standard error). Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences between different drug treatments ($P<0.05$).

2.3 田间防治试验调查结果

选择在处理 7 d 内达到 90% 以上防效的 22% 氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液、17% 氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液和 2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液进行田间防治，防效如表 4 所示。

防治效果最好的为 17% 氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液和 22% 氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液，施药 3 d 后防效分别为 100.00% 和 98.18%，7 d 后分别为 100.00% 和 99.85%；其次为 2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液，施药 7 d 后防效为 87.36%，显著低于 17% 氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液。

表 4 药剂田间试验结果

Tab. 4 Field trial results of pesticide control

药剂 Pesticides	稀释倍数 Dilution ratio	防治效果/% Control efficacy	
		施药后 3 d	施药后 7 d
22% 氟啶虫胺胍 SC	30 000	98.18±1.35 ab	99.85±0.15 ab
17% 氟吡呋喃酮 SL	3 000	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
2% 噻虫啉 CS	1 500	87.39±6.51 b	87.36±5.02 b

注：表中数值为平均值±标准误，同一列数据后不同小写字母表示不同药剂处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Notes: The values in the table are mean±SE (standard error). Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences between different drug treatments ($P<0.05$).

2.4 天敌昆虫安全性评价结果

根据 2.1 和 2.2 试验结果，选择在处理 7 d 内防效达到 90% 以上的 22% 氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液、17% 氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液和 2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液，开展针对 5 种刺吸性害虫天敌昆虫的安全性评价试验。结果见表 5、表 6、表 7。

从表 5 可知，3 种药剂对 3 种天敌瓢虫均表现出

不同程度的毒性，其中：

处理 1 d 后，2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液对七星瓢虫 3 龄幼虫的致死率显著高于 22% 氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液，呈现出较高的急性毒性；处理 3~7 d 后，17% 氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液、22% 氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液和 2% 噻虫啉 CS 1 500 倍液对七星瓢虫 3 龄幼虫的致死率无显著差异，均表现出较高的毒性。

表 5 3 种药剂对瓢虫的安全性评价结果

Tab. 5 Safety assessment results of three pesticides against Lady beetle

天敌 Natural enemy	药剂 Pesticides	稀释倍数 Dilution ratio	校正死亡率/% Corrected mortality			
			施药后 1 d	施药后 3 d	施药后 5 d	施药后 7 d
七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	22%氟啶虫胺胍 SC	30 000	19.61±8.43 b	70.83±15.24 a	76.09±15.52 a	84.78±10.65 a
	17%氟吡呋喃酮 SL	3 000	33.33±3.67 ab	54.17±5.31 a	54.35±6.34 a	56.52±4.86 a
	2%噻虫啉 CS	1 500	52.94±9.51 a	60.42±12.50 a	65.22±14.74 a	69.57±11.08 a
异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	22%氟啶虫胺胍 SC	30 000	50.00±10.54 b	69.77±9.45 b	73.17±7.11 b	75.00±6.85 b
	17%氟吡呋喃酮 SL	3 000	81.82±5.79 a	81.40±5.93 ab	82.93±4.88 b	82.50±5.00 b
	2%噻虫啉 CS	1 500	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a
龟纹瓢虫 <i>Propylea japonica</i>	22%氟啶虫胺胍 SC	30 000	32.65±6.92 c	42.55±5.42 b	50.00±11.13 b	64.10±6.28 b
	17%氟吡呋喃酮 SL	3 000	85.71±5.20 a	87.23±3.98 a	95.45±2.78 a	97.44±2.56 a
	2%噻虫啉 CS	1 500	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a

注：表中数值为平均值±标准误，同一列数据后不同小写字母表示不同药剂处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Notes: The values in the table are mean±SE (standard error). Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences between different drug treatments ($P<0.05$).

表 6 3 种药剂对中华通草蛉的安全性评价结果

Tab. 6 Safety assessment results of three pesticides against *Chrysoperla sinica*

药剂 Pesticides	稀释倍数 Dilution ratio	校正死亡率/% Corrected mortality		
		施药后 1 d	施药后 2 d	施药后 3 d
22%氟啶虫胺胍 SC	30 000	15.22±9.35 b	17.07±13.58 b	27.50±12.12 b
17%氟吡呋喃酮 SL	3 000	93.48±2.66 a	92.68±2.99 a	92.50±3.06 a
2%噻虫啉 CS	1 500	97.83±2.17 a	97.56±2.44 a	97.50±2.50 a

注：表中数值为平均值±标准误，同一列数据后不同小写字母表示不同药剂处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Notes: The values in the table are mean±SE (standard error). Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences between different drug treatments ($P<0.05$).

表 7 3 种药剂对东亚小花蝽的安全性评价结果

Tab. 7 Safety assessment results of three pesticides against *Orius sauteri*

药剂 Pesticides	稀释倍数 Dilution ratio	校正死亡率/% Corrected mortality		
		施药后 1 d	施药后 2 d	施药后 3 d
22%氟啶虫胺胍 SC	30 000	63.33±12.53 a	75.86±6.90 b	80.36±7.14 b
17%氟吡呋喃酮 SL	3 000	70.00±8.98 a	89.66±6.90 ab	92.86±5.21 ab
2%噻虫啉 CS	1 500	75.00±6.45 a	98.28±1.72 a	98.21±1.79 a

注：表中数值为平均值±标准误，同一列数据后不同小写字母表示不同药剂处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Notes: The values in the table are mean±SE (standard error). Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences between different drug treatments ($P<0.05$).

2%噻虫啉 CS 1 500 倍液对异色瓢虫 3 龄幼虫的致死率最高，处理 1 d 后试虫校正死亡率即达到 100.00%；处理 7 d 后，17%氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液、22%氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液对异色瓢虫 3 龄幼虫的致死率显著低于 2%噻虫啉 CS 1 500 倍液，但试虫的校正死亡率也达到 70.00% 以上，同样具有较高的毒性。

2%噻虫啉 CS 1 500 倍液和 17%氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液对龟纹瓢虫 3 龄幼虫的致死率较高，处理 7 d 后试虫校正死亡率均达到 95.00% 以上；22%氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液对龟纹瓢虫 3 龄幼虫的致死率显著低于前 2 种药剂，处理 7 d 后试虫的校正死亡率为 64.10%，毒性相对较低。

从表 6 可知，3 种药剂中，2%噻虫啉 CS 1 500 倍液和 17%氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液对中华通草蛉 3 龄幼虫的致死率较高，处理 3 d 后试虫校正死亡率均达到 90.00% 以上；22%氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液对中华通草蛉 3 龄幼虫的致死率显著低于前 2 种药剂，处理 3 d 后试虫的校正死亡率仅为 27.50%，安全性较高。

从表 7 可知，3 种药剂对东亚小花蝽均有较高毒性。2%噻虫啉 CS 1 500 倍液和 17%氟吡呋喃酮 SL 3 000 倍液处理 3 d 后试虫校正死亡率均达到 90.00% 以上；22%氟啶虫胺胍 SC 30 000 倍液对东亚小花蝽的毒性虽显著低于 2%噻虫啉 CS 1 500 倍液，但处理 3 d 后试虫的校正死亡率达 80.36%。

3 讨论

3.1 防治白皮松长足大蚜药剂的筛选

有害生物综合治理是一项重要防控策略, 化学防治、生物防治和生态调控技术是综合防治技术体系的重要组成部分(吴孔明等, 2009)。尽管化学防治易引发环境污染、生物多样性下降以及害虫产生抗药性等问题(高希武, 2010), 但仍是目前林业有害生物防控的主要措施之一(吕云彤等, 2018)。在农药选择时, 既要关注防治效果, 更要关注其安全性的科学评价。

噻虫啉作为新烟碱类烟碱型乙酰胆碱受体(nAChR)竞争性调节剂, 对多种蚜虫均有良好防治效果(李强等, 2021; 张迎军等, 2020; 吴建挺等, 2022)。由于该类药剂在生产中应用广泛, 其抗药性问题也较为突出(张志鹏, 2023)。本研究结果表明, 2%噻虫啉CS在推荐剂量下对白皮松长足大蚜具有良好的防治效果, 但田间防效略低于22%氟啶虫胺胍SC和17%氟吡呋喃酮SL, 推测试验样地内的白皮松长足大蚜已对噻虫啉产生一定程度的抗药性。

氟啶虫胺胍和氟吡呋喃酮均属于烟碱型乙酰胆碱受体(nAChR)竞争性调节剂。虽然二者与吡虫啉等同属于烟碱类杀虫剂, 但药效功能基团不同, 其中氟啶虫胺胍属于磺酰亚胺类(4C亚组), 氟吡呋喃酮属于丁烯酸内酯类(4D亚组), 二者均与目前常用的烟碱类杀虫剂无明显交互抗性(李仁等, 2021; 韩醴, 2016)。本研究中, 22%氟啶虫胺胍SC和17%氟吡呋喃酮SL对白皮松长足大蚜均表现出良好的防效及速效性。

双丙环虫酯和吡蚜酮同属于国际杀虫剂抗性行动委员会IRAC(Insecticide Resistance Action Committee)组别中9组弦音器(Transient Receptor Potential Vanilloid, TRPV)通道调节剂, 但二者化学结构和作用机制有明显差异, 因此分属于9D和9B亚组。使用该药剂后, 有害生物的正常进食会受到干扰, 进而导致其饥饿、死亡(谭海军, 2024)。因此, 该类药剂的速效性较低, 需要7d以上才能表现出良好的防治效果(岳明珠等, 2023; 焦蕊等, 2022)。本研究中, 50 g·L⁻¹双丙环虫酯DC和25%吡蚜酮SC对白皮松长足大蚜的防效表现也印证了这一结论。

苦参碱属于植物源杀虫剂, 杀虫机理尚未明确。有研究表明, 苦参碱可能是通过干扰害虫体内细胞氯离子平衡, 使害虫痉挛、麻痹甚至死亡(马铤, 2022)。螺虫乙酯属于乙酰辅酶A羧化酶抑制剂, 对靶标害

虫的作用机理是通过抑制昆虫体内乙酰辅酶A羧化酶(ACCCase)的活性, 阻碍脂肪合成, 破坏能量代谢途径, 从而导致幼虫死亡(赖声洪, 2013)。本研究中, 1%苦参碱SL和22.4%螺虫乙酯SC对白皮松长足大蚜的防效表现不佳。

3.2 不同药剂的安全性评价

白皮松长足大蚜作为危害白皮松的主要刺吸性害虫, 对其防控应兼顾高效性和生态安全性。为此, 本研究结合室内毒力测定, 分析了3种防效较好的药剂对天敌的影响。

研究结果表明, 2%噻虫啉CS对七星瓢虫的毒性与其它药剂无显著差异, 对异色瓢虫、龟纹瓢虫、中华通草蛉以及东亚小花蝽均有较高的致死毒性; 22%氟啶虫胺胍SC对七星瓢虫、异色瓢虫和东亚小花蝽均有较高毒性; 17%氟吡呋喃酮SL对异色瓢虫、龟纹瓢虫、中华通草蛉和东亚小花蝽均有较高毒性。

孟祥飞等(2025)通过室内毒力测定和田间药效试验, 评价了防治灰茶尺蠖*Ectropis obliqua* Hampson的药剂防治效果以及对主要天敌蠋蝽*Arma chinensis* Fallou的安全性。研究结果表明, 使用农药对天敌安全产生显著影响。因此, 在天敌放飞区或天敌昆虫发生的高峰期, 应谨慎使用农药开展防治工作。

有研究表明, 双丙环虫酯和吡蚜酮对天敌昆虫具有较高安全性(李鹏飞等, 2023; 刘春蕊等, 2023; 刘锦等, 2024), 尽管二者防治效果显著低于其他3种烟碱类杀虫剂, 但在推荐剂量下对白皮松长足大蚜也表现出70%以上的防治效果。因此, 在白皮松长足大蚜发生程度较轻时, 可使用50 g·L⁻¹双丙环虫酯DC和25%吡蚜酮SC, 并结合生物防治措施开展防治工作。

4 结论

基于本研究结果, 得出以下结论:

1) 对于城市绿地、公园等景观效果要求比较高的区域, 或在白皮松长足大蚜虫口密度高、危害显著时, 优先选用17%氟吡呋喃酮SL 3 000倍液和22%氟啶虫胺胍SC 30 000倍液进行防治, 可以达到快速压低虫口密度的目的。同时应注意避免在瓢虫、草蛉等天敌昆虫活动高峰期施药; 施药前后7d内暂停释放天敌, 防止药剂直接杀伤天敌。

2) 对于平原林、山区和自然保护区等生态安全要求较高的区域, 或在白皮松长足大蚜虫口密度低、处于危害初期时, 优先选用50 g·L⁻¹双丙环虫酯DC 12 000倍液和25%吡蚜酮SC 6 000倍液, 同时可释放瓢虫等天敌昆虫进行生物防治。

3) 应交替使用不同作用机理的药剂, 避免因连续使用同种药剂导致白皮松长足大蚜产生抗药性。同时种植诱集植物, 在林间适当保留杂草带, 招引天敌昆虫并为其提供栖息地, 最大限度减少施药对天敌资源的负面影响, 实现对白皮松长足大蚜的可持续控制。

参 考 文 献

- 高希武. 2010. 我国害虫化学防治现状与发展策略[J]. 植物保护, 36(4): 19–22.
- Gao X W. 2010. Current status and development strategies of chemical pest control in China[J]. Plant Protection, 36(4): 19–22. (in Chinese)
- 韩 懿. 2016. 从分子结构角度解析氟吡呋喃酮及其新颖的丁烯酸内酯药效团[J]. 世界农药, 38(1): 9–13.
- Han L. 2016. Analysis of Flupyradifurone and its novel Butenolide pharmacophore from molecular structure Perspective[J]. World Pesticides, 38(1): 9–13. (in Chinese)
- 贾婉, 王浩, 于洋, 等. 2020. 北京地区白皮松移植及管护技术[J]. 绿色科技, 22(23): 69–71.
- Jia W, Wang H, Yu Y, et al. 2020. Transplantation and maintenance techniques of *Pinus bungeana* in Beijing area[J]. Journal of Green Science and Technology, (23): 69–71. (in Chinese)
- 焦蕊, 张林林, 刘金利, 等. 2022. 4 种杀虫剂对桃蚜的田间防治试验[J]. 北方果树(4): 11–13.
- Jiao R, Zhang L L, Liu J L, et al. 2022. Field efficacy of 4 insecticides on *Myzus persicae*[J]. Northern Fruits, (4): 11–13. (in Chinese)
- 赖声洪. 2013. 螺虫乙酯脂醚类衍生物的合成、生物活性研究及基于 ACCase 靶酶的筛选方法初探[D]. 杭州: 浙江大学.
- Lai S H. 2013. Study on synthesis and bioactivity of Spirotetramat[D]. Hangzhou: Zhejiang University. (in Chinese)
- 李鹏飞, 郑艺翔, 苟长青, 等. 2023. 5 种杀虫剂对棉蚜的防效和对多异瓢虫的安全性评价[J]. 棉花学报, 35(6): 487–496.
- Li P F, Zheng Y X, Gou C Q, et al. 2023. Effect of five insecticides against *Aphis gossypii* and their safety evaluation on *Hippodamia variegata*[J]. Cotton Science, 35(6): 487–496. (in Chinese)
- 李强, 门兴元, 景春, 等. 2021. 苹果黄蚜高效防治药剂筛选[J]. 安徽农业科学, 49(6): 137–139.
- Li Q, Men X Y, Jing C, et al. 2021. Screening of effective insecticides against *Aphis citricola*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 49(6): 137–139. (in Chinese)
- 李仁, 梁平卓, 程沈航, 等. 2021. 我国棉蚜对吡虫啉和氟啶虫胺腈抗性水平监测与交互抗性分析[J]. 植物保护学报, 48(5): 1104–1113.
- Li R, Liang P Z, Cheng S H, et al. 2021. Determination of resistance and cross-resistance to imidacloprid and sulfoxaflor in field populations of *Aphis gossypii* in China[J]. Journal of Plant Protection, 48(5): 1104–1113. (in Chinese)
- 刘春蕊, 魏引弟, 韩英, 等. 2023. 5% 双丙环虫酯对十一星瓢虫的安全性评价[J]. 新疆农垦科技, 46(2): 60–63.
- Liu C R, Wei Y D, Han Y, et al. 2023. Safety evaluation of 5% Flonicamid against *Coccinella undecimpunctata*[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 46(2): 60–63. (in Chinese)
- 刘海军, 骆有庆, 温俊宝, 等. 2005. 北京地区红脂大小蠹、美国白蛾和锈色粒肩天牛风险评价[J]. 北京林业大学学报, 27(2): 81–87.
- Liu H J, Luo Y Q, Wen J B, et al. 2005. Pest risk assessment of *Dendroctonus valens*, *Hyphantria cunea* and *Apriona swainsoni* in Beijing area[J]. Journal of Beijing Forestry University, 27(2): 81–87. (in Chinese)
- 刘佳. 2024. 北京市白皮松栽培技术要点[J]. 南方农业, 18(3): 281–284.
- Liu J. 2024. Key points of cultivation techniques for *Pinus bungeana* in Beijing[J]. South China Agriculture, 18(3): 281–284. (in Chinese)
- 刘锦, 陈鹏, 迟宝杰, 等. 2024. 不同杀虫剂防治苜蓿蚜虫效果及对捕食性天敌影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 55(4): 587–592.
- Liu J, Chen P, Chi B J, et al. 2024. Effect of different insecticides on alfalfa aphids and predatory natural enemies[J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 55(4): 587–592. (in Chinese)
- 吕云彤, 张琪慧, 苑冉, 等. 2018. 中国森林害虫化学防治研究进展[J]. 环境昆虫学报, 40(3): 543–552.
- Lyu Y T, Zhang Q H, Yuan R, et al. 2018. Advances in chemical control for forest pests of China[J]. Journal of Environmental Entomology, 40(3): 543–552. (in Chinese)
- 马安民. 2020. 白皮松长足大蚜的生物学特性及其在三门峡市的发生危害特征与防治措施[J]. 绿色科技, 22(17): 186–188.
- Ma A M. 2020. Biological characteristics of *Cinara bungeanae* and its occurrence, damage and control measures in Sanmenxia City[J]. Journal of Green Science and Technology, 22(17): 186–188. (in Chinese)
- 马铤. 2022. 苦参碱对豌豆蚜的毒杀作用机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- Ma T. 2022. Study on the aphicidal mechanism of Matrine on *Pea aphid*[D]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 马莉军. 2025. 小陇山林区白皮松育苗技术要点[J]. 南方农业, 19(18): 170–172.
- Ma L J. 2025. Seedling cultivation technology of *Pinus bungeana* in Xiaolongshan Forest region[J]. South China Agriculture, 19(18): 170–172. (in Chinese)
- 孟祥飞, 赵莹婕, 蔡晓明, 等. 2025. 灰茶尺蠖防治药剂筛选与安全性评价[J]. 茶叶科学, 45(6): 1055–1065.
- Meng X F, Zhao Y J, Cai X M, et al. 2025. Screening and safety evaluation of pesticides for *Ectropis grisea*[J]. Journal of Tea Science, 45(6): 1055–1065. (in Chinese)
- 谭海军. 2024. 弦音器 TRPV 通道及以其为靶标的杀虫剂[J]. 世界农药, 46(10): 1–19, 30.
- Tan H J. 2024. TRPV channels in chordotonal organs and insecticides targeting them[J]. World Pesticide, 46(10): 1–19, 30. (in Chinese)
- 王佳庆. 2025. 北京市白皮松栽培技术优化研究[J]. 现代园艺, 48(4): 13–14, 18.
- Wang J Q. 2025. Optimization research on cultivation techniques of *Pinus bungeana* in Beijing[J]. Modern Horticulture, 48(4): 13–14, 18. (in Chinese)
- 魏建荣, 王传珍, 曲花荣, 等. 2004. 天敌昆虫对美国白蛾的生物控制研究[J]. 林业科学, 40(2): 90–95.
- Wei J R, Wang C Z, Qu H R, et al. 2004. Study on biological control of fall webworm by insect natural enemy[J]. Scientia Silvae Sinicae, 40(2): 90–95. (in Chinese)

- 吴建挺, 徐龙祥, 赵恭文, 等. 2022. 氟啶虫酰胺与噻虫啉复配比例筛选及对蚜虫田间防效评价[J]. *安徽农业科学*, 50(18): 120–122, 169.
- Wu J T, Xu L X, Zhao G W, *et al.* 2022. Screening of compound proportion and evaluation of field control effect of flonicamid and thiacloprid on aphids[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 50(18): 120–122, 169. (in Chinese)
- 吴孔明, 陆宴辉, 王振营. 2009. 我国农业害虫综合防治研究现状与展望[J]. *昆虫知识*, 46(6): 831–836.
- Wu K M, Lu Y H, Wang Z Y. 2009. Advance in integrated pest management of crops in China[J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(6): 831–836. (in Chinese)
- 岳明珠, 马甜甜, 许江岩, 等. 2023. 氟吡呋喃酮等六种杀虫剂对草莓蚜虫的田间防效[J]. *中南农业科技*, 44(6): 16–18, 22.
- Yue M Z, Ma T T, Xu J Y, *et al.* 2023. Field efficacy of Flupyradifurone and five other insecticides against strawberry aphid[J]. *South-central Agricultural Science and Technology*, 44(6): 16–18, 22. (in Chinese)
- 张迎军, 赵倩兮, 任军玲, 等. 2020. 不同药剂组合对石榴花期蚜虫防效试验[J]. *西北园艺*(10): 41–43.
- Zhang Y J, Zhao Q X, Ren J L, *et al.* 2020. Efficacy test of different pesticide combinations against aphids in pomegranate flowering period[J]. *Northwest Horticulture*, (10): 41–43. (in Chinese)
- 张志鹏. 2023. 大豆蚜对噻虫啉的抗性生化机制及代谢谱差异研究[D]. 天津: 天津农学院.
- Zhang Z P. 2023. Study on Biochemical mechanisms and differences metabolic profiles of resistance to thiacloprid in *Aphis glycines*[D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University. (in Chinese)
- 赵金瑞. 2012. 不同药剂对三种茄子害虫的毒力测定以及对丽蚜小蜂的安全性评估[D]. 杭州: 浙江大学.
- Zhao J R. 2012. Toxicities of different pesticides to 3 eggplant pests and safety evaluation of different pesticides to *Encarsia formosa*[D]. Hangzhou: Zhejiang University. (in Chinese)