

科技前沿

重大外来入侵害虫——美国白蛾生物防治技术研究^{*}杨忠岐^{**} 张永安

(国家林业局森林保护学重点实验室 中国林科院森林生态环境与保护研究所 北京 100091)

Researches on techniques for biocontrol of the fall webworm, *Hyphantria cunea*, a severe invasive insect pest to China. YANG Zhong-Qi^{**}, ZHANG Yong-An (Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration of China; Research Institute of Forest Ecology, Environmental and Protection, Beijing 100091, China)

Abstract The fall webworm, *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctidae) is a severe invasive pest and has caused significant damages to forests and ornamental trees in China since its first finding in 1979. Particularly it has spread aseptriato Beijing in recent year and threatens the successful conducting of “the Green Olympics” in Beijing in 2008. From the fail lessons of classical biological control by introductions of parasitoids from USA and Canada carried out during the period of 1952~1965, we have focused on looking for the China native parasitoids for biological control of the pest. By effort of successive studies for 21 years, an effective pupa parasitoid in the pest pupa, *Chouioia cunea* Yang (gen. & sp. nov.) (Hymenoptera: Eulophidae), was found and selected as a biological control agent. The biology, behavior, ecology, female reproductive system anatomy and mass rearing of the parasitoid have subsequently been studied. Meanwhile, the researches on releasing technique and substitute hosts for mass rearing the parasitoid have been carried out. The excellent control results were gotten by releasing it in many areas. In the same time a strain of nuclear polyhedron virus of the fall webworm (HcNPV) in the pest larva with high toxicity was discovered and selected. A superior artificial diet was developed for mass rearing fall webworm larvae first, and a large number of the pest larvae were reared with the diet, then inoculating HcNPV for mass producing the virus. In this way the quality and quantity of HcNPV have been guaranteed for biological control of the pest larvae. An integrative biological control technique has been developed, i. e. spraying HcNPV in larva stage and releasing the parasitoid, *C. cunea* in the pupa stage of the fall webworm respectively. By applying the technique to control two generations of the fall webworm successively an effective and sustainable control results could be reached, and the fall webworm has been suppressed for six years in Shanghai, Dalian, Yantai and Qingdao cities. The biocontrol technique is safe for environment, attaining excellent control result without having influence on environment and biodiversity because the biocontrol agents are original ecological factors in forest ecosystems. It has been used in Beijing for control of the fall webworm to ensure that the goal of “the Green Olympics” be realized in 2008.

Key words the fall webworm, *Hyphantria cunea*, biological control, *Chouioia cunea*, parasitoid, HcNPV, mass rearing, sustainable control

摘 要 美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury) 是重大外来入侵害虫, 对我国林业和园林绿化造成重大危害,

^{*} 国家杰出青年科学基金项目 (39625020), 国家攻关课题 (2004BA509B11), 林业部重点课题 (96-25)。本文为《昆虫知识》编委会特约稿。

^{**} E-mail: Yangzq@caf.ac.cn

收稿日期: 2007-04-03, 修回日期: 2007-05-24

尤其是近年来美国白蛾传入北京, 严重威胁着我国“绿色奥运”的顺利举办和首都园林绿化及生态环境安全。根据美国白蛾多发生在居民区、乡镇和城市的特点, 作者开展对环境安全的生物防治技术研究。汲取前苏联等国家从美国白蛾的原产地引进天敌进行生物防治没有成功的经验和教训, 立足调查和寻找我国本土天敌。经过 21 年的努力, 发现和筛选出白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* Yang(新属新种) 这种寄生美国白蛾的特优天敌; 研究这种小蜂的行为学、生态学、生物学、解剖学及人工大量繁殖、放蜂防治技术; 筛选出人工大量繁殖小蜂的替代寄主, 解决小蜂的大量繁殖的瓶颈问题; 通过放蜂防治试验, 取得良好的防治效果。同时, 筛选出防治美国白蛾的高毒力 HcNPV 病毒毒株, 研制出美国白蛾人工饲料, 利用人工饲料大量饲养美国白蛾幼虫, 然后接种扩增病毒, 成功解决 HcNPV 病毒大量扩增生产和常年生产的技术难题, 做到病毒的规模化生产和常年生产, 保证大面积生产防治的需要和病毒质量。研究出利用天敌昆虫和病原微生物综合应用的防治模式: 在美国白蛾幼虫期喷洒 HcNPV 病毒, 蛹期释放白蛾周氏啮小蜂, 达到既控制当代美国白蛾的危害, 又有效抑制其下代的种群数量, 取得长期的持续控制美国白蛾的防治效果。上海市、大连市、烟台市和青岛市利用该项技术已经完全控制美国白蛾, 特别是上海市利用本项生物防治技术防治后, 已经连续 6 年没有再发现美国白蛾。由于该项生物防治技术利用的是自然界原有的控制害虫的生态因子, 因而对环境安全, 做到既消灭害虫, 又保证生态环境和人畜的安全, 也保护生物多样性。该项研究成果也为北京采用“绿色”防治技术有效控制美国白蛾提供重要的科技支撑和技术保障。

关键词 美国白蛾, 生物防治, 白蛾周氏啮小蜂, 核型多角体病毒, 人工繁殖, 持续控制

美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury) 是我国重大外来入侵害虫, 食叶危害。因其危害严重, 故被列为国际检疫害虫。2005 年北京发现美国白蛾。由于它繁殖量大, 危害的寄主植物多, 传播速度快, 因而在新传入地常常暴发成灾。我国的辽宁、陕西、山东、河北、天津、上海等省市美国白蛾都曾大发生, 暴发成灾, 造成过严重的生态灾害。如何做到无污染地有效控制美国白蛾, 保护首都园林绿化和生态环境安全, 保障 2008 年北京“绿色奥运”的成功实现, 是目前我们所面临的迫切而重大的问题。

从 1984 年开始, 我们开展美国白蛾生物防治技术研究, 历时 21 年, 克服许多困难, 攻克一个又一个难关, 研究出以利用寄生性天敌昆虫——白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* Yang(膜翅目: 姬小蜂科 Eulophidae) 和美国白蛾核型多角体病毒(HcNPV) 为主的生物防治美国白蛾技术, 防治效果十分显著。上海市、大连市、烟台市和青岛市利用本项技术已经有效控制美国白蛾, 特别是上海市, 在防治后已经连续 6 年很难再发现这种害虫。由于本项生物防治技术利用的是自然界原有的控制害虫的生态因子, 因而对环境安全, 达到既消灭害虫, 又保证生态环境

和人畜的安全, 也保护生物多样性^[1~4]。国务院于 2006 年 3 月在关于进一步加强美国白蛾防治工作的通知中, 特别强调要科学防治美国白蛾, 要进一步加大科技成果转化和推广应用的力度, 尤其是加大周氏啮小蜂释放技术、病毒杀虫剂使用技术等的应用。“重大外来入侵性害虫——美国白蛾生物防治技术研究”项目获 2006 年度国家科技进步二等奖。本项研究成果也为北京市采用“绿色”防治技术有效控制美国白蛾提供科技支撑和技术保障。

1 美国白蛾发生的历史和其他国家开展防治的情况

美国白蛾原产北美。二战期间, 随军用物资传播到欧洲部分国家和日本, 随后又传播到欧洲几乎所有的国家和韩国、朝鲜及日本。一些欧洲国家和韩国、日本曾调查过美国白蛾的天敌, 做过利用病原微生物防治试验, 但应用于生产防治成功的事例还未见到^[5,6]。前苏联和南斯拉夫根据国际经典生物防治理论, 从美国白蛾原产地美国和加拿大先后引进 8 种寄生蜂和 2 种寄生蝇, 进行 15 年的研究, 但最后都没有成功^[7]。因此, 目前国际上对美国白蛾的防治基本是靠投入大量财力、物力进行化学防治,

对美国白蛾的无公害有效防治仍然是一个世界性难题。

2 美国白蛾在我国的发生情况和防治难点

我国于 1979 年首次在辽宁省丹东市发现美国白蛾,随后该害虫扩散蔓延到山东、陕西、河北、天津和上海,在这些发生区都造成过将园林绿化树木、防护林、果树的叶子几乎全部食光的重大灾害,因而成为我国重大的外来入侵害虫,被国家林业局列为全国六大森林病虫害防控对象之一。我国以前对这种害虫主要以喷洒化学农药为主进行防治,累计已花费数 10 亿元,虽然在局部地区取得了一定的控制效果,但对环境污染严重,也大量杀伤了天敌,造成年年防虫、年年有灾的局面,其扩散蔓延和危害的势头有增无减,生产上对有效控制这种严重害虫的要求十分迫切。

美国白蛾在我国发生的特点和防治的难点是:(1)多发生在城市和居民区的园林绿化树木及植物上,因而不能使用对环境、人畜有害的化学农药。(2)危害的植物种类多,几乎包括所有造林、园林绿化的树种及果树、蔬菜和农作物,以及多种乔灌木植物和杂草,因而很难做到彻底防治。(3)多在我国沿海城市发生,这些地区的水产养殖业(虾、蟹等)发达,因而对环境较安全的仿生型农药(如灭幼脲等昆虫生长调节剂)不能使用。(4)美国白蛾危害的园林树木和行道树一般都比较高大,现有的喷药机械达不到这么高的扬程,因而防效差。

3 以利用天敌为主的生物防治技术研究内容和成果

我们主要针对上述美国白蛾在我国危害的特点和防治的难点开展研究,汲取国际上其他国家开展美国白蛾防治及研究的经验和教训,确立以调查筛选、利用我国自己本土天敌昆虫及病原微生物开展美国白蛾生物防治的新思路,进行生物防治技术研究,取得一系列研究成果,有效地克服和解决了上述问题,达到了显著的防治效果。现代表课题组将该获奖项目的内

容介绍如下。

3.1 美国白蛾在我国各发生区的生活史和生物学特性

美国白蛾在我国北方一般 1 年发生 2 代,部分发生 3 代,以蛹在多种隐蔽场所越冬,世代重叠现象严重为其发生的主要特点。

3.2 美国白蛾在我国危害的寄主植物种类

调查显示其寄主植物达 49 科 108 属 175 种,几乎包括我们栽培的所有林木、果树、园林植物和花卉、蔬菜、农作物,以及多种草本、灌木植物。正是由于其寄主植物的多样性,大大增加了其防治的难度。

3.3 美国白蛾卵块和网幕幼虫的空间分布型

研究得出为负二项分布型即聚集分布。计算出了危害不同类型的寄主树种的理论抽样数(表 1),为释放小蜂防治时调查美国白蛾幼虫数量、进而准确计算放蜂量提供依据^[8]。

表 1 美国白蛾不同密度的理论抽样数(株)	
卵块密度	抽样数 <i>n</i>
0.5	367
0.8	240
1.1	183
1.4	150
1.7	128
2.0	114

3.4 生物防治美国白蛾的特优天敌——白蛾周氏啮小蜂(新属新种)

发现美国白蛾的天敌昆虫在我国共有 27 种,包括 1 新属 9 新种及中国新记录属 1 个,新记录种 4 种,描述和发表了这些新天敌^[9,10]。

(1)白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* Yang, 新属新种^[11]。

(2)白蛾孤独绒茧蜂 *Dolichogenidea singularis* Yang et Wei, 新种^[12]。

(3)白蛾聚集绒茧蜂 *Cotesia gregalis* Yang et You, 新种^[13]。

(4)白蛾黑棒啮小蜂 *Tetrastichus septentrionalis* Yang, 新种^[13]。

(5)山东白蛾啮小蜂 *Tetrastichus shandongensis* Yang, 新种^[14]。

- (6) 白蛾黑基啮小蜂 *Tetrastichus nigricoxae* Yang, 新种^[14]。
- (7) 白蛾短角啮小蜂 *Tetrastichus litoreus* Yang, 新种^[13]。
- (8) 白蛾圆腹啮小蜂 *Aprostocetus magniventer* Yang, 新种^[14]。
- (9) 白蛾索棒金小蜂 *Conomorium cunae* Yang et Baur, 新种^[17]。

同时, 调查天敌的寄生率、寄生习性、雌雄性比等。寄生性天敌昆虫在美国白蛾越冬蛹中的平均寄生率 25.80%, 在夏季世代蛹中的平均寄生率 16.13%。表明这些天敌在自然控制美国白蛾上发挥着一定的作用, 但还不足以达到能够自然控制美国白蛾的水平。经多元统计分析, 得到表达白蛾周氏啮小蜂等天敌昆虫对美国白蛾自然寄生数量关系的回归模型。

$$\hat{y} = 1.72 + 0.81x_1 + 0.44x_2 + 0.35x_3 + 0.38x_5 + 0.32x_6 + 0.35x_8 + 0.65x_9。$$

通过对这些天敌进行多重比较分析, 发现白蛾周氏啮小蜂的寄生率与其它天敌均没有重叠, 是影响总寄生率的关键因子, 从而筛选出白蛾周氏啮小蜂作为生物防治美国白蛾所利用的重要天敌^[9] (封4 彩版 I : 图 1, 2)。

3.5 白蛾周氏啮小蜂的行为学

通过解剖研究雌成虫内部生殖系统 (图 1), 研究该小蜂的繁殖能力, 为人工繁蜂时接蜂量以及释放防治时的释放量提供依据。研究表明, 这种小蜂为群集内寄生性; 出蜂量大 (每寄主蛹出蜂 124~365 头, 平均 274 头); 雌雄性比大 (45~96 ♀: 1 ♂)^[18]; 寻找寄主寄生的能力强, 能找到寄主在各种隐蔽场所化的蛹产卵寄生; 成蜂趋光性强, 寿命达 15 d; 雌蜂怀卵量大 (最高 680 粒, 平均 270.5 粒)^[19]。

3.6 白蛾周氏啮小蜂发育与温度的关系

计算出小蜂的发育起点温度为 6.14℃, 有效积温为 365.12 日·度 (表 2)。并利用数学模型计算出发育历期的理论值 (图 2)。为人工繁蜂时温度的确定、按时出蜂用于防治提供保证^[20]。

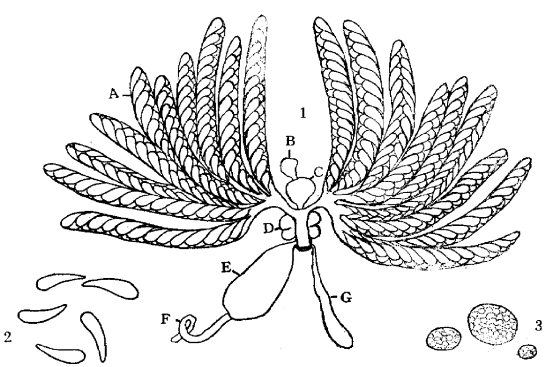


图 1 白蛾周氏啮小蜂雌性成虫内生殖系统
1. 雌内生殖系统 2. 卵 3. 营养体颗粒 (A. 卵巢管 B. 受精囊腺 C. 受精囊 D. 输卵管附腺 E. 毒囊 F. 毒腺 G. 杜氏腺)

表 2 白蛾周氏啮小蜂的发育起点温度及有效积温

发育起点温度 (°C)	有效积温 (K) (日·度)	回归方程式
6.14±0.83	365.12±15.56	T=6.14+365.12V

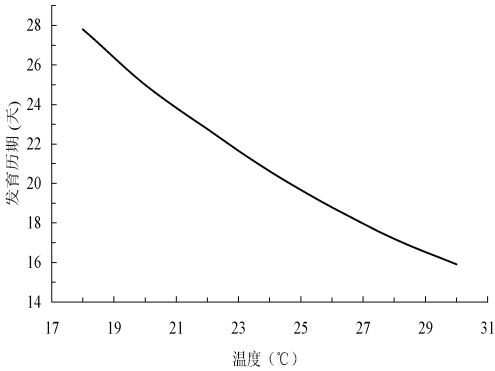


图 2 白蛾周氏啮小蜂发育历期 (理论值) 与温度的函数关系曲线图

3.7 筛选繁殖美国白蛾的替代寄主, 解决白蛾周氏啮小蜂人工大量繁殖的技术瓶颈

通过对 11 种不同的寄主试验筛选, 找到良好的繁蜂替代寄主——柞蚕 *Antheraea pernyi* 蛹, 使繁蜂量提高近 100 倍, 做到规模化繁蜂和常年繁蜂, 为利用这种天敌进行大面积防治创造条件并试验解决柞蚕蛹的长期保存问题, 达到常年繁蜂和规模化繁蜂; 还研究解决蜂种复壮问题, 保证人工繁殖出的小蜂的质量^[21] (封4 彩版 I : 图 3~5)。

3.8 确定放蜂防治美国白蛾的最佳虫期、放蜂量和放蜂次数

总结出一套行之有效的放蜂防治技术。放蜂最佳虫期为美国白蛾老熟幼虫期和化蛹初期;放蜂量按经验公式: $TN = W \times AN \times 3$ 计算;放蜂次数采用每代美国白蛾放蜂 2 次共放蜂 4 次。经过放蜂的地区,白蛾周氏啮小蜂的最高寄生率达 88.02%。由于放蜂防治区禁止使用化学农药,因而保护其它天敌,使这些天敌的种群数量大大增加。因此,白蛾周氏啮小蜂和其它多种天敌的总寄生率最高达 96.28%,平均 92.3%。经过连续 2 代 4 次放蜂,使美国白蛾的有虫株率降到了 0.1% 以下,有效地控制了美国白蛾的危害,达到有虫不成灾,并达到了持续控制的显著防治效果^[21] (封 4 彩版 I :图 6, 7)。

3.9 建立放蜂防治后白蛾周氏啮小蜂与其它天敌数量关系的数学模型,并用生命表技术评价白蛾周氏啮小蜂对美国白蛾的长期控制作用

白蛾周氏啮小蜂是决定总寄生率高低和控制效果的关键因子,经计算分析,建立表达在美国白蛾得到有效控制后,小蜂与总寄生率关系的数学模型:

$$y = -51.60795 + 77.47512 \lg x^{[21]}$$

经连续 2 年 4 代定点观察研究美国白蛾生命表,发现放蜂防治后下代美国白蛾种群趋势指数(I)远远小于 1(0.1364),表明白蛾周氏啮小蜂对美国白蛾的持续控制效果十分显著^[22]。

3.10 筛选防治美国白蛾的优良核型多角体病毒(HcNPV)毒株,研究大量生产 HcNPV 的技术

通过调查和筛选,获得防治美国白蛾幼虫的优良 HcNPV 毒株;试验成功一种优良的人工饲料;通过大量和常年饲养美国白蛾幼虫、而后接种扩增病毒,攻克了 HcNPV 病毒规模化生产的技术难关,也使病毒的质量得到保证,为利用病毒大面积防治美国白蛾提供保障。

3.11 HcNPV 病毒与小蜂综合防治美国白蛾幼虫

通过试验,确定利用病毒防治美国白蛾的

最佳幼虫龄期、病毒的使用剂量、剂型等;并在美国白蛾蛹期释放小蜂综合防治,取得显著的控制效果。避免美国白蛾幼虫对林木的危害而造成园林景观的破坏,从而解决我国城市园林绿化树木无污染防治美国白蛾的难题(图 3, 封 4 彩版 I :图 8~10)。

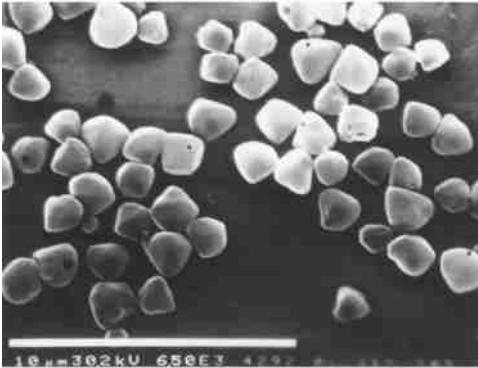


图 3 美国白蛾核 HcNPV 病毒

3.12 白蛾周氏啮小蜂的转主寄主

研究发现,白蛾周氏啮小蜂 1 年发生 7 代,除寄生美国白蛾外,还可寄生柳毒蛾 *Stilpnolia salicis*、榆毒蛾 *Ivela ochropoda*、杨扇舟蛾 *Clostera anachoreta*、大袋蛾 *Clania variegeta* 等 5 种食叶害虫。在美国白蛾相邻的 2 代蛹期之间,小蜂可转移寄生这些害虫,从而保持其较高的种群数量;在将美国白蛾数量控制下去后,小蜂可寄生于这些转主寄主,保持必要的种群数量,一旦美国白蛾发生,又可转而寄生美国白蛾,达到对美国白蛾长期而有效的控制效果^[23] (图 4)。

3.13 利用生物防治技术持续控制美国白蛾效果的长期跟踪研究

在白蛾周氏啮小蜂释放防治美国白蛾后,连续 6 年跟踪调查小蜂的持续控制效果,包括美国白蛾后代种群增长趋势指数等,表明这种天敌的持续控制作用十分显著。在释放小蜂 4 次防治 2 代美国白蛾后的 6 年中,有虫株率均保持在 0.1% 以下的低水平,没有造成危害,达到持续控制的良好防治效果^[3] (图 5, 6)。

3.14 大面积推广应用

在开展研究的同时,进行技术推广应用:在全国建立繁蜂中心 7 个,共繁蜂 65.5 亿头,防

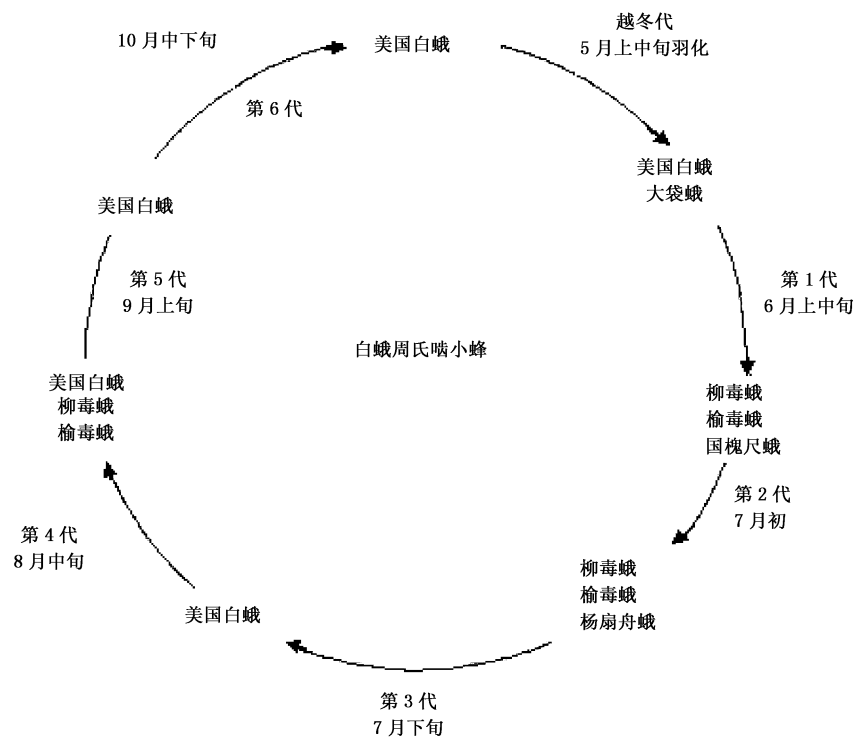


图4 白蛾周氏啮小蜂在不同的寄主上转主寄生情况

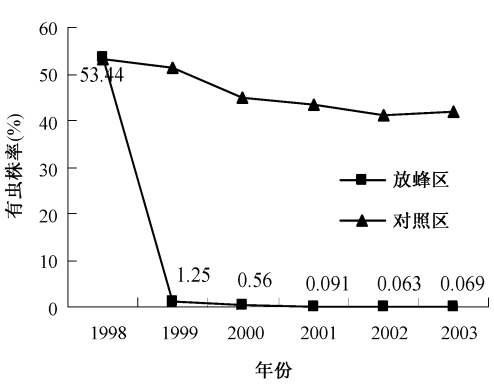


图5 各放蜂防治区美国白蛾有虫株率平均降低情况

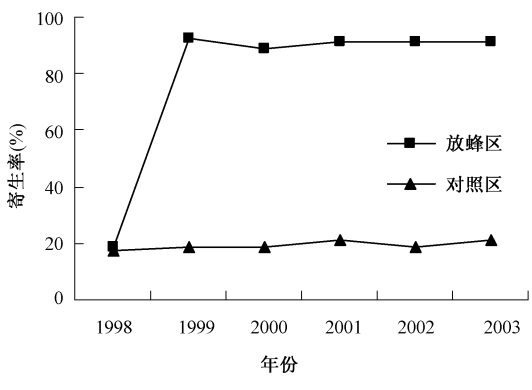


图6 各放蜂防治区天敌平均控制效果

治推广面积达 79.07 万 hm^2 。在推广防治区有效控制美国白蛾的危害, 产生显著的生态效益、社会效益和经济效益。

3.15 将该项技术应用推广到防治其它重要的林木食叶害虫上, 也取得显著的防治效果

山东省从 1997 年起开始利用白蛾周氏啮小蜂防治美国白蛾, 后应用于防治在全省严重

成灾的杨扇舟蛾、杨小舟蛾 *Micromelalopha troglodyte*, 自 2000 年至 2004 年共推广防治面积累计 30 万 hm^2 。小蜂在这 2 种食叶害虫上的寄生率达 60%~70%, 控制效果显著。吉林省长春市净月林区应用白蛾周氏啮小蜂防治严重危害落叶松的伊藤厚丝叶蜂 *Pachynematus itoi*, 防治面积 1 540 hm^2 。防治后虫口减退率达 89.7%, 做到在没有造成环境和水体污染的情

况下,有效防治这种严重的食叶害虫,保护长春市居民用水水源的安全。

4 结束语

该项研究立足于调查我国本土的天敌,发现和筛选出白蛾周氏啮小蜂这种寄生美国白蛾的特优天敌,并研究这种小蜂的行为学、生态学、生物学、解剖学及人工大量繁殖、放蜂防治技术,还研究小蜂的替代寄主,解决人工大量繁殖蜂的技术难题,通过防治试验,取得显著的防治效果。同时筛选出防治美国白蛾的高毒力 HcNPV 病毒毒株,研究出美国白蛾全人工饲料,利用人工饲料大量饲养美国白蛾幼虫,然后接种扩增病毒,成功解决 HcNPV 病毒大量扩增生产和常年生产的技术难题,做到病毒的规模化和常年生产,保证大面积生产防治的需要和病毒的质量。另外,将天敌昆虫和病原微生物综合利用用于防治,既控制当代美国白蛾的危害,又抑制其下代的数量,取得显著的持续控制效果。该项研究申请和获得国家发明专利 3 项,发表、完成研究论文 27 篇。

该项研究解决了国际国内多年没有解决的无污染有效控制美国白蛾的难题,具有我国自己独立的知识产权。利用害虫新传入地当地的天敌成功控制重大外来侵入性害虫,突破和完善经典生物防治理论,也为世界上其他美国白蛾发生的国家提供一项无污染、持续而有效地防治美国白蛾的新技术。

目前,国家林业局正在全国美国白蛾发生区,特别是在京津冀辽美国白蛾联防联治工程中,大力推广应用该项生物防治技术。通过认真推广应用该项生物防治技术,严格按照该项技术的操作规程,即人工大量繁殖白蛾周氏啮小蜂,在美国白蛾老熟幼虫期和化蛹初期适时、足量释放,在 2~3 龄幼虫期喷洒 HcNPV 病毒制剂,可以达到有效控制美国白蛾的目标,为保护首都的生态环境安全和实现“绿色奥运”做出

贡献。

参 考 文 献

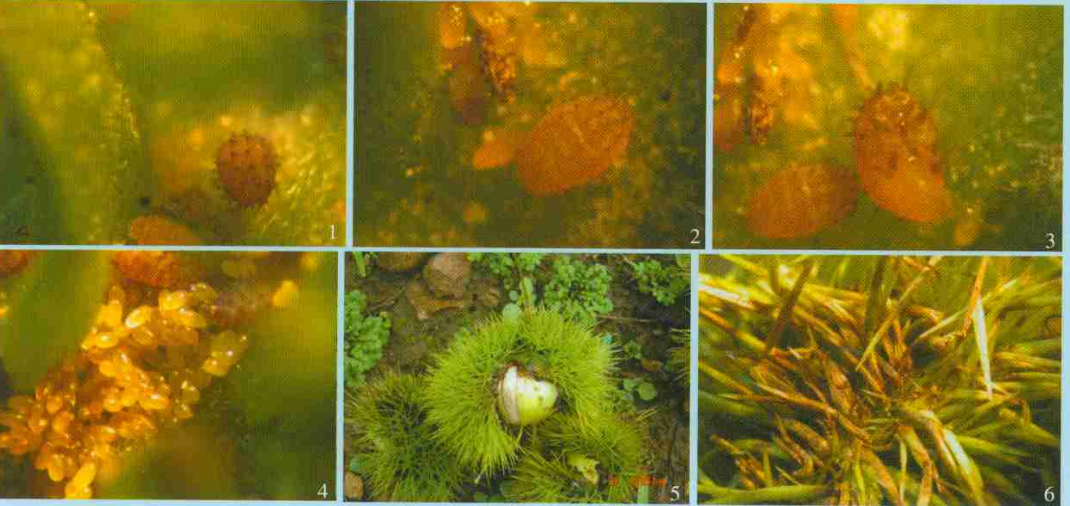
- 1 杨忠岐. 中国生物防治, 2004, 20(4): 221~228.
- 2 杨忠岐, 王小艺, 王传珍, 乔秀荣, 庞建军. 林业科学, 2005, 41(5): 72~80.
- 3 Biocontrol News and Information. 2006, 27(3): 50N~51N. <http://www.pestscience.com>
- 4 Fuester R. W. Proc. the 15th Intern. Plant Protec. Congr., Beijing, China, May 11~16, 2004, 9~13.
- 5 Tadic M. Proc. 10th Intern. Congr. of Entomol., 1958, 855~858.
- 6 Tadic M. *Entomophaga*, 1963, 8: 245~252.
- 7 Clausen, C. P. In: Clausen, C. P. (ed.), *Introduced Parasites and Predators of Arthropod Pests and Weeds: a World Review*. USDA, Agriculture Handbook No. 480, Washington D. C., 1978. 172~173.
- 8 魏建荣, 王传珍, 杨隼, 邵凌松, 张同友. 林业科学研究, 2004, 17(4): 500~504.
- 9 Yang Z. Q., Wang X. Y., Wei J. R., Qu H. R., Qiao X. R. *Bull Entomol. Res.*, 2007, 97(6). (in press).
- 10 杨秀卿, 魏建荣, 杨忠岐. 中国生物防治, 2001, 17(1): 40~42.
- 11 杨忠岐. 昆虫分类学报, 1989, 11(1-2): 117~130.
- 12 杨忠岐, 魏建荣, 游兰韶. 动物分类学报, 2002, 27(3): 608~615.
- 13 杨忠岐, 王秉海, 魏建荣. 昆虫学报, 2001, 44(1): 98~102.
- 14 杨忠岐, 魏建荣. 林业科学, 2003, 39(5): 67~73.
- 15 杨忠岐, 乔秀荣, 韩义生. 动物分类学报, 2003, 28(4): 733~736.
- 16 杨忠岐, 王传珍, 刘玉明. 林业科学, 2003, 39(6): 87~90.
- 17 Yang Z., Baur H. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomol. Gesellschaft*, 2004, 77(3-4): 213~221.
- 18 杨忠岐, 谢恩魁. 中国生物防治, 1998, 14(2): 49~52.
- 19 杨忠岐. 林业科学, 1995, 31(1): 23~26.
- 20 杨忠岐. 林业科学, 2000, 31(6): 119~122.
- 21 Yang Z. Q., Wei J. R., Wang X. Y. *BioControl*, 2006, 51(4): 401~418.
- 22 魏建荣, 杨忠岐, 苏智. 昆虫学报, 2003, 46(3): 318~324.
- 23 苏智, 杨忠岐, 魏建荣, 王小艺. 林业科学, 2004, 40(4): 106~116.

图版 I 杨忠岐等：重大外来入侵害虫——美国白蛾生物防治技术研究（正文见 P465）



1. 白蛾周氏啮小蜂雌蜂在美国白蛾蛹上产卵 2. 寄生在美国白蛾蛹中的白蛾周氏啮小蜂幼虫 3. 繁殖白蛾周氏啮小蜂的替代寄主柞蚕蛹 4. 替代寄主柞蚕蛹中繁殖出的小蜂幼虫 5. 储藏的繁蜂替代寄主柞蚕蛹 6,7. 林间放蜂防治美国白蛾 8. 利用人工饲料饲养白蛾幼虫扩增病毒 9. 人工大量饲养美国白蛾幼虫 10. 病毒喷洒后死亡美国白蛾幼虫

图版 II 张发利等：入侵害虫栗苞蚜的生物学特性与防治效果（正文见 P552）



1~3. 孤雌蚜形态 4. 卵 5,6. 为害状