

文章编号:1001-7380(2015)01-0001-07

杨树食叶害虫杨舟蛾生物控制技术研究及应用

徐福元,徐明,刘云鹏,解春霞,郑华英,高悦

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

摘要:通过高效绿僵菌、*Bt* 菌株筛选和周氏啮小蜂、赤眼蜂规模化繁育及其施放技术等研究,构建了一套杨树食叶害虫防治专家系统,并在江苏省宝应等县通过 1.4 万 hm^2 杨树舟蛾发生区的生物治理示范,3 a 分别用生物制剂应急治理 66.67,333.33 hm^2 ,其余林分通过释放赤眼蜂、周氏啮小蜂等天敌和林农复合经营等措施控制危害,控制杨小舟蛾、杨扇舟蛾的效果为 95%~100%,对大面积示范区维持低虫口密度起到了关键作用。在生产上选择以释放周氏啮小蜂或赤眼蜂 30.0 万头/ hm^2 防治杨小舟蛾或杨扇舟蛾,可有效控制林间舟蛾的虫口密度,实现了高效、无公害、可持续治理的目标。

关键词:杨树食叶害虫;杨小舟蛾;杨扇舟蛾;生物控制;大面积示范

中图分类号:S792.11;S763 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2015.01.001

Studies on the technology of biological control to the defoliator of the poplars and its demonstration

XU Fu-yuan, XU Ming, LIU Yun-peng, XIE Chun-xia, ZHENG Hua-ying, GAO Yue

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

Abstract: By the introduction and screening of high efficient *Metarhizium anisopliae*, *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) strain, and studying the massive breeding and large-scaled releasing technology of *Chouioia cunea* and *Trichogramma closterae*, we constructed a set of early warning system of defoliator of the poplars control. In the 14 000 hm^2 of biological control demonstration area in Baoying County, the area of emergency treatment with biological preparation of *Bt* and chlorbenzuron were 66.67, 333.33 hm^2 respectively during 2009 and 2010. In the rest of the stands, by releasing 0.30 million per hm^2 of *T. Closterae* or *C. cunea* and agroforestry system measures to control the damage, we gained the control effects up to 95%~100% on the larvae of *Clostera anachoreta* or *Micromelalopha troglodyte*, playing a key role for large scale demonstration zone to maintain a low insect mouth density. The population density was greatly reduced and the targets of high efficiency, non pollution and sustainable management were achieved.

Key words: Defoliator of the poplars; *Micromelalopha troglodyte*; *Clostera anachoreta*; Biological control; Large-scaled demonstration

杨树是江苏省最主要的造林绿化树种之一,全省杨木及杨木加工产业收入3 000 亿元以上,杨树种植已成为苏北农村脱贫致富的重要支柱产业之一。随着杨树种植面积的不断扩大,树种单一经营度高,病虫害发生严重。杨舟蛾、刺蛾、杨树天牛等为主的虫害和以溃疡病、红心病等为主的病害日趋加

剧,经常大面积爆发成灾,一定程度上制约了杨树速生丰产林基地建设的发展^[1-4]。1998年、2010年苏北杨树树叶全部被杨舟蛾吃光,损失严重。经测定,因虫害减少杨树生长量的价值4元/株以上,江苏全省有数十亿株杨树,如果大面积发生,既损失巨大,又影响景观。该虫防治难度大,防治研究较少,20

收稿日期:2014-12-20;修回日期:2014-12-30

基金项目:江苏省林业三新工程项目“天敌生物防控重大森林病虫害技术集成与示范”(LYSX[2014]17);江苏省科技支撑计划项目“杨树食叶害虫杨舟蛾生物控制技术与示范”(BE2009386)

作者简介:徐福元(1955-),男,江苏苏州人,研究员,博士,从事林业有害生物防治技术研究工作。E-mail:xufuyuan@aliyun.com。

世纪 80 年代初大量引进了意大利杨新品种,杨树已为 20 m 以上高大乔木,一般药械的喷药射程都在 15 m 以下,杨树舟蛾种类和发生代数多,世代重叠和发生范围广,虽然投入大量人力、物力和财力通过药械防治,但收效甚微,年年有灾。杨树的单一经营,天敌资源少,有效天敌的利用途径不清等导致林分对食叶害虫的“自然控制”能力弱^[5-11]。

本文调查发现寄生杨树舟蛾幼虫主要有绿僵菌、Bt 高效菌株等;寄生杨树舟蛾蛹有周氏啮小蜂等^[11];寄生杨树舟蛾卵有松毛虫赤眼蜂、舟蛾赤眼蜂等,均有良好的防治效果^[9]。目前绿僵菌和周氏啮小蜂等均通过研究实现了规模化生产和繁育,杨树害虫防治生物物的规模化生产和规模治理,提高在林分间控制食叶害虫的能力,取得了较好的防控效果,现整理报道如下。

1 材料和方法

1.1 林间调查

供试害虫:杨小舟蛾 [*Micromelalopha troglodyta* (Graeser)]、杨扇舟蛾 [*Clostera anachoreta* (Fabricius)]。

调查方法:为掌握本省杨树主要害虫的有效天敌的种类,调查了林间害虫被天敌寄生的情况,方法是在害虫危害的高峰期,采取随机调查,发现目标后进行详查;采集到标本并进行饲养与鉴定,分析评估天敌对杨舟蛾的寄生效果。

1.2 天敌微生物收集与筛选

本研究收集了球孢白僵菌 [*Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill.] 12 个菌株,试验发现 221 株系对杨小舟蛾幼虫、226 株系对杨扇舟蛾幼虫防治效果最好;收集了 31 个苏云金杆菌 [*Bacillus thuringiensis*, (Bt)] 菌株,从中筛选出了 3 个菌株对 4 种靶虫的防治效果较好,将供试 Bt 最强毒菌株 CF1263 分别等比稀释为 1×10^8 , $1/2 \times 10^8$, $1/4 \times 10^8$, $1/8 \times 10^8$ 和 $1/16 \times 10^8$ 个孢子/mL,用于规模生产和防治试验;收集了 21 个绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*, Ma) 菌株,并分别等比稀释为 1.0×10^6 , 1.0×10^7 和 1.0×10^8 个孢子/mL,从中筛选出了 Ma_{42} , Ma_{788} , Ma_{789} 3 个菌株并对 4 种靶虫用于防治试验。

1.3 赤眼蜂繁育与防治试验

研制了舟蛾赤眼蜂 (*Trichogramma closterae* Pang et Chen) 和松毛虫赤眼蜂 (*Trichogramma dendrolimi*) 繁育技术:供试松毛虫赤眼蜂蜂种由湖南省林业科

学研究院提供,蜂卡由江苏省林业科学研究院天敌繁育中心生产。在室内采用 1 ℃ 左右的冰箱内贮存 10 ~ 15 d,将新羽化、柞蚕蛾剖腹取出的卵连续繁殖 5 代后作为供试赤眼蜂。

1.4 周氏啮小蜂人工繁育与林间防治试验

收集并研究了周氏啮小蜂 (*Chouioia cunea* Yang)、白蛾黑基啮小蜂 (*Tetrastichus nigricoxae* Yang) 寄生防治杨小舟蛾蛹技术。

①周氏啮小蜂规模繁育:柞蚕 (*Antheraea pernyi* G.) 茧购自吉林省柞蚕科学研究所,周氏啮小蜂种蜂引自山东省滨州市林业技术指导站。2013 年 4 ~ 5 月,将接蜂箱 (35 cm × 40 cm × 5 cm) 消毒后,装入柞蚕茧 (每箱 80 ~ 90 个)。接蜂试验以种蜂茧与柞蚕蛹比例 1:40 和 1:50 为 2 个处理,每个处理重复接蜂 20 箱。接蜂后用纱布将接蜂箱密封,放入暗室,种蜂充分寄生柞蚕蛹。48 h 后,拆开接蜂箱,转入 (26 ± 2) ℃ 和湿度为 70% 左右的培养室。培养 7 d 后,观察统计其寄生率,并挑选被寄生的蛹,根据林间防治时间,继续培养至羽化期或冷藏在 8 ℃ 冷库。共繁育周氏啮小蜂 5 亿头以上。②周氏啮小蜂规模释放:在杨小舟蛾、杨扇舟蛾老熟幼虫期或化蛹初期释放效果最佳 (应提前做好林间调查,掌握害虫发育程度)。寄生蛹在准确识别后,及时按防治需要分不同条件保存,在释放 10 d 前置于 25 ℃ 条件下暖蜂备用。把即将出蜂的柞蚕蛹直接悬挂或用大头针固定在树干上,小蜂即可自行羽化而出寻找寄主。放蜂量依据林地害虫虫口高低,每 667 m² 挂放 3 ~ 5 个蜂蛹 (22.5, 30.0, 37.5 万头啮小蜂/hm²),啮小蜂释放效果受天气影响较大,放蜂时宜选择晴朗、无风、空气湿度较为适宜 (75% 左右) 的傍晚,能够达到较高的寄生率。放蜂 7 d 后在放蜂区采集舟蛾蛹至室内观察,调查其寄生率。

2 结果与分析

2.1 释放天敌技术对杨树害虫的生物控制效果与应用

通过调查发现,寄生害虫幼虫的天敌主要有肿腿蜂、花绒寄甲、绿僵菌、Bt、白僵菌、白蛾核型多角体病毒高效菌株等。寄生害虫蛹的周氏啮小蜂等;寄生害虫卵的赤眼蜂等,均有良好的防治效果。开展的优良天敌的筛选和防治试验效果如下。

2.1.1 周氏啮小蜂对杨小舟蛾、杨扇舟蛾的控制效果 用周氏啮小蜂在宿迁、盐城等杨树林区释放防

治杨小舟蛾、杨扇舟蛾,经调查,林间的寄生效果在 40%~50%。释放 30.0 万头/hm²周氏啮小蜂放蜂区周氏啮小蜂对杨小舟蛾、杨扇舟蛾第 3,4 代卵的寄生率分别达(39.53±4.37)%、(41.67±3.99)%和(43.0±1.68)%;释放 37.5 万头/hm²周氏啮小蜂放蜂区周氏啮小蜂对杨小舟蛾第 3 代卵的寄生率

分别达(44.60±6.33)%和(52.23±3.67)%,2 个放蜂密度试验区均有较高的寄生和生物防治效果,考虑到释放周氏啮小蜂的防治成本,建议在生产上选择以释放 30.0 万头/hm²周氏啮小蜂防治杨小舟蛾和杨扇舟蛾的方法,这样既生态经济,又可取得很好的生物防治效果(见表 1)。

表 1 规模释放周氏啮小蜂对杨小舟蛾、杨扇舟蛾的控制效果

放蜂地点	虫种世代	放蜂日期	放蜂量 (万头/hm ²)	调查舟蛾 蛹数量/头	被寄生数 ±SD/头	寄生率 ±SD/%
宿豫区岸	杨小舟蛾 3 代	2011-09-10	37.5	30×4	13.38±2.25	44.60±6.33 b
东海县苗圃	杨小舟蛾 3 代	2012-08-16	30	30×3	11.86±3.55	39.53±4.37 c
宝应运河堤	杨扇舟蛾 3 代	2012-08-20	30	30×3	12.50±3.93	41.67±3.99 b
盐城盐都区	杨扇舟蛾 3 代	2013-09-09	37.5	30×4	15.67±1.67	52.23±3.67 a
新沂城西	杨小舟蛾 4 代	2011-09-19	30	30×4	12.90±5.55	43.0±1.68 b

同列数据后的不同小写字母表示同 1 d 中虫口减退率之间的差异显著($P<0.01$)。

2.1.2 赤眼蜂防治杨扇舟蛾试验 采用卵卡的制备保存、箱式繁蜂和暗室繁蜂、蜂卡的保存与释放技术。分别于 2011,2012,2013 和 2014 年 7 月下旬在泗阳县古黄河自驾游景区实施了赤眼蜂防治杨树舟蛾试验,并进行杨扇舟蛾虫情调查。于杨扇舟蛾第 3 代卵期在杨树成片林(未施任何农药)内进行放蜂试验,于 2010 年 9 月上旬第 4 代舟蛾卵期进行虫情及寄生率调查。在 3 种放蜂密度区调查发现,在释放 22.5,30.0,37.5 万头/hm²赤眼蜂放蜂区,对杨扇舟蛾第 4 代卵的校正寄生率分别达(35.26±6.67)%、(56.10±2.87)%和(64.24±5.33)%,与对照区相比,3 个放蜂试验区的校正寄生率除释放 22.5 万头/hm²赤眼蜂放蜂区的校正寄生率略低外,其余 2 个试验区均有较高的寄生效果,且均取得了明显的寄生和生物防治效果。考虑到释放赤眼蜂的防治成本,建议在生产上选择以释放 30.0 万头/hm²赤眼蜂防治杨扇舟蛾的方法,这样既生态、经济,又可取得很好的生物防治效果(见表 2)。

表 2 规模释放赤眼蜂对杨扇舟蛾的寄生效果

释放密度 (万头/hm ²)	面积 /hm ²	寄生数 /卵	正常数 /卵	校正寄生率 /%
22.5	66.7	14.31±4.67 c	33.8±10.09 b	35.26±6.67 c
30.0	133.3	17.5±1.08 b	28.7±3.67 d	56.10±2.87 b
37.5	66.7	30.8±5.17 ab	45.2±8.37 a	64.24±5.33 a
CK	0.1	4.7±2.33d	38.3±4.33 b	0

同列数据后的不同小写字母表示同 1 d 中虫口减退率之间的差异显著($P<0.01$)。

2.1.3 绿僵菌防治杨小舟蛾试验 选用 4 株产孢好的绿僵菌菌株($Ma_1, Ma_{42}, Ma_{788}, Ma_{789}$)室内食物污染法对杨扇舟蛾幼虫进行了生物测定,4 菌株对杨扇舟蛾幼虫致病力存在一定的差异,在孢子浓度为 1.0×10^8 个/mL 和 1.0×10^7 个/mL 时,4 菌株对杨扇舟蛾幼虫的毒力强弱为 $Ma_{789}>Ma_{788}>Ma_1>Ma_{42}$,而孢子浓度为 1.0×10^6 个/mL 时, Ma_1 毒力强于 Ma_{788} 。可见,毒力最强的是 Ma_{789} 。4 株绿僵菌对杨扇舟蛾幼虫的室内毒力回归方程见图 1。4 菌株对杨扇舟蛾幼虫均表现一定的毒力,但其致病力存在一定的差异,在孢子浓度为 1.0×10^8 个/mL 和 1.0×10^7 个/mL 时,4 菌株对杨扇舟蛾幼虫的毒力强弱为 $Ma_{789}>Ma_{788}>Ma_1>Ma_{42}$,而孢子浓度为 1.0×10^6 个/mL 时,4 菌株表现的毒力强弱与高浓度时略有不同, Ma_1 毒力强于 Ma_{788} 。但总的来说,4 菌株对杨扇舟蛾幼虫室内毒力测定表明, Ma_{789} 毒力最强(见图 1,表 3),因此认为,可以用 Ma_{789} 菌株规模治理杨扇舟蛾幼虫。

2.1.4 Bt 防治杨小舟蛾试验 用 Bt 乳剂 300 国际单位喷雾,24 h 效果 77%,36 h 效果 83%,72 h 效果达 100%。本试验以 5 个浓度梯度对杨扇舟蛾、杨小舟蛾幼虫进行了生物测定,测定结果表明,3 菌株表现具有一定的毒力,但毒力强弱有所差异,以 1×10^8 个孢子/mL 从 48 h 对各虫生物测定的 LC₅₀ 数据发现毒力强弱为 CF1263>CF1269>CF1262,不同的试虫对 Bt 菌株表现出来的死亡率也不一样,其中杨小舟蛾的半致死浓度最低,杨扇舟蛾的半致

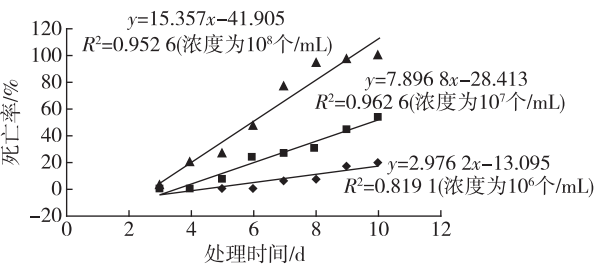


图 1 不同孢子浓度 Ma_{789} 对杨扇舟蛾幼虫的毒力

死浓度最高。根据其施用技术和效果,经试验 *Bt* CF1263 菌株对杨小舟蛾幼虫的防治效果最高(77%~100%)(见表 4),CF1269 和 CF1262 菌株对杨小舟蛾幼虫的防治效果次之。因此,认为可以用 *Bt* 的 CF1263 菌株规模治理杨小舟蛾幼虫。

2.2 初步构建了杨树食叶害虫防治专家系统
2.2.1 舟蛾发生数量与环境因子的关系 在掌握杨树食叶害虫发生规律的基础上,研究了舟蛾发生

表 3 绿僵菌 4 菌株对杨扇舟蛾幼虫的毒力

菌株	孢子浓度/(个/mL)	回归方程	相关系数	LT ₅₀ /d	LT ₉₀ /d
Ma_1	1.0×10^8	$y = 9.7619x - 27.619$	0.9964	7.951	12.049
	1.0×10^7	$y = 4.5635x - 13.413$	0.9734	13.896	22.661
	1.0×10^6	$y = 2.5794x - 11.349$	0.8418	23.784	39.292
Ma_{42}	1.0×10^8	$y = 9.3651x - 29.206$	0.9867	8.458	12.729
	1.0×10^7	$y = 4.4444x - 14.722$	0.9634	14.563	23.563
	1.0×10^6	$y = 2.3413x - 9.8016$	0.8679	25.542	42.627
Ma_{788}	1.0×10^8	$y = 12.619x - 35.357$	0.9868	6.674	9.934
	1.0×10^7	$y = 6.0714x - 21.548$	0.9685	11.784	18.373
	1.0×10^6	$y = 2.4206x - 9.4841$	0.8904	24.574	41.099
Ma_{789}	1.0×10^8	$y = 15.357x - 41.905$	0.9526	5.989	8.589
	1.0×10^7	$y = 7.8968x - 28.413$	0.9626	9.930	14.995
	1.0×10^6	$y = 2.9762x - 13.095$	0.8191	21.200	37.640

数量与环境因子的关系,特别是降雨、湿度与舟蛾发生的关系最为密切。①舟蛾发生与湿度的关系。在用三角瓶饲养幼虫的过程中,杨小舟蛾幼虫喜爱干燥的生长环境。如阴雨天采集的叶片会增加瓶内湿度,导致幼虫发育不良,自然死亡率较高。而将叶片用清水洗净、晾干,保持瓶壁干燥洁净或将三角瓶倒置于饲养架上,取代湿棉塞封口,降低瓶内饲养环境的湿度,可大大提高幼虫饲养成活率,说明杨小舟蛾适宜在比较干燥的环境生存。②舟蛾发生与降雨的关系。降雨量多少和雨日长短均影响着害虫种群数量的变化。雨量集中、雨日增长对害虫发育不利,却有利于幼虫颗粒体病毒病的发生,导致灾情显著减轻。2009 年 5 月至 6 月上中旬少雨,京沪高速公路宝应县、高邮县部分路段的第 2 代杨扇舟蛾幼虫虫口密度达(8.09±6.33)头/小枝,沿高速公路 2 侧杨树树叶均被第 2 代杨扇舟蛾幼虫全部吃光。6 月下旬至 7 月中旬连降 2 次暴雨,第 3 代至越冬杨扇舟蛾的虫口密度一直很低;1998 年 5 月雨日 11 d,降雨量 156.2 mm,第 1 代幼虫发育慢,幼虫发生期

超过 1 个月;而 5 月底 6 月初气温上升,降雨偏少(6 月雨日 7 d,降雨仅 69.7 mm),第 2 代幼虫发育加快,杨小舟蛾幼虫虫口密度达(6.67±3.33)头/小枝。1998 年 7 月雨日 13 d,降雨量 267.3 mm,8 月雨日 16 d,雨量 317.2 mm,导致第 4 代幼虫颗粒体病毒病流行。8 月 20 日后调查,林间出现大量的感病死虫,第 4 代种群数量显著下降,第 5 代杨小舟蛾幼虫虫口密度为(1.26±0.80)头/小枝,基本没有造成危害;而 1999 年 7、8 月降雨量偏小,7 月雨日 4 d,雨量 171.8 mm,杨小舟蛾幼虫虫口密度为(0.87±0.67)头/小枝;8 月雨日 8 d,降雨量仅 66.2 mm,出现持续干旱、高温天气,8 月下旬调查林间颗粒体病毒发病率极低,导致第 4、5 代害虫严重发生,杨小舟蛾幼虫虫口密度达(7.79±3.33)头/小枝,特别是第 5 代(最后 1 代)的大面积暴发成灾,在徐州市杨小舟蛾发生史上属首次。可见,湿度增大,降雨偏多,对害虫发生不利,却有利于颗粒体病毒病的发生。上述观察说明,降雨多少与杨树舟蛾的发生关系密切(见表 5)。因此,6、7、8 月多雨年份,不需要

防治杨树舟蛾;干旱少雨时,则要及时做好防治的准备。

表 4 Bt 菌株对杨小舟蛾幼虫防治效果

菌株	剂量/(孢子个/mL)	试虫总数	药后 24 h 活虫数	24 h 防效/%	药后 48 h 活虫数	48 h 防效/%	药后 72 h 活虫数	72 h 防效/%	药后 96 h 活虫数	96 h 防效/%
CF1262	1 × 10 ⁸	30	10	66.67	8	72.41	6	78.57	3	88.89
	1/2 × 10 ⁸	30	13	56.67	9	68.97	7	75.00	5	81.48
	1/4 × 10 ⁸	30	19	36.67	13	56.67	10	64.29	9	66.67
	1/8 × 10 ⁸	30	22	26.67	17	41.38	15	46.43	12	55.56
	1/16 × 10 ⁸	30	25	16.67	24	17.24	22	21.43	17	37.04
CF1263	1 × 10 ⁸	30	5	83.33	2	93.10	1	96.43	0	100
	1/2 × 10 ⁸	30	10	66.67	7	75.86	2	92.86	0	100
	1/4 × 10 ⁸	30	14	53.33	10	65.52	4	85.71	1	96.30
	1/8 × 10 ⁸	30	13	56.67	11	62.07	8	71.43	6	77.78
	1/16 × 10 ⁸	30	22	26.67	19	34.48	15	46.43	12	55.56
CF1269	1 × 10 ⁸	30	7	76.67	4	86.21	2	92.86	1	96.30
	1/2 × 10 ⁸	30	11	63.33	9	68.97	3	89.29	1	96.30
	1/4 × 10 ⁸	30	17	43.33	12	58.62	6	78.57	3	88.89
	1/8 × 10 ⁸	30	21	30.00	15	48.28	10	64.29	9	66.67
	1/16 × 10 ⁸	30	24	20.00	23	20.69	20	28.57	12	55.56
CK	1 × 10 ⁸	30	30		29		28		27	

表 5 不同月降雨量与舟蛾发生的关系

年度	月/降雨日/d	降雨量/mm	虫口密度/(头/小枝)	月/降雨日/d	降雨量/mm	虫口密度/(头/小枝)
1998	6 月/7	69.7	6.67 ± 3.33 b	8 月/16	317.2	1.26 ± 0.80 b
1999	7 月/4	171.8	0.87 ± 0.67 c	8 月/8	66.2	7.79 ± 3.33 a, 叶食尽
2009	5 月/5	71.1	8.09 ± 6.33 a, 叶食尽	6 月/17	509.8	0.33 ± 0.47 c

同列数据后的不同小写字母表示同 1 d 中虫口减退率之间的差异显著 ($P < 0.01$)。

2.2.2 杨树食叶害虫防治专家系统的初步示范与应用 根据杨树舟蛾发生情况和发生数量与生物及综合治理的关系。首先,在宝应县建立杨树舟蛾发生与生物及综合治理示范区,示范面积为 1.4 万 hm^2 。通过发生量和发生期预测预报,①随时掌握舟蛾的发生虫情:通过越冬期蛹数的发生情况调查,得出舟蛾蛹的存活率发生系数 B 高于 1 头/ m^2 (发生系数 B 分 4 级: I > 1.5 , II ≥ 1.0 , III < 0.5 , IV < 0.1) 范围内,发生大于 II 时,大发生的可能性较大,存活率发生系数 B 设为 1,应早做好防治准备;低于 1 头/ m^2 ,在 1~2 代发生期可不必防治,但要做好重点监测,到第 3 代蛹期和幼虫期,再进行调查,预测下一代的发生趋势。幼虫期幼虫数的发生情况,根据本项目调查和国家森林病虫害防治总站的轻、中、

重划分标准来预测发生程度。杨树上中下树枝抽样调查结果,平均每枝条幼虫发生系数 B 超过 6 头/50 cm 长枝条(发生系数 B 分 4 级: I > 8.0 头/50 cm 枝, II ≥ 6.0 头/50 cm 枝, III < 4.0 头/50 cm 枝, IV < 2.0 头/50 cm 枝),发生程度大于 II,大发生的可能性较大,幼虫发生系数 B 设为 1,要做好防治工作的准备,据此幼虫期的预测来验证蛹期越冬前后调查数据预测的可靠程度。②治理范围的决策:根据取样地的范围建立了预警治理模型 $A = B \times a + 10a\%$, [$A(\text{hm}^2)$ 表示拟需要防治范围,虫情发生系数 $B = \Sigma b/n$ (B 表示发生系数, b 表示平均每枝虫口数, n 表示每树调查枝条数), $a(\text{hm}^2)$ 表示调查发生的面积范围],可预测发生范围,即需要小范围药剂加微生物减灾防治的面积和生物控制和林农复合经

营等措施的面积。③实施效果:自 2009 年起在宝应县建立杨树舟蛾发生与生物及综合治理示范区,示范面积为 1.4 万 hm^2 。2009 年 5 月至 6 月上中旬少雨,京沪高速公路宝应县、高邮县部分路段的杨树树叶被第 2 代杨扇舟蛾吃光。根据调查发现,发生程度大于 II, $B=1$, $a=60$, 预警治理模型得出拟需要防治范围为 66 hm^2 。当年近 66.67 hm^2 范围采取了药剂加天敌微生物 *Bt* 减灾防治第 2 代杨扇舟蛾幼虫,应急治理面积占近 0.3%, 6 月下旬至 7 月中旬连降 2 次暴雨,其他区域均采取了释放 1 亿头周氏啮小蜂等生物控制和林农复合经营等措施,第 3 代杨扇舟蛾的虫口密度降为 (0.33 ± 0.47) 头/50 cm 枝,其应急治理效果 95.92%,至越冬,杨扇舟蛾的虫口密度一直很低,治理示范区取得了初步的示范效果。2010 年 6 月上中旬至 7 月下旬严重少雨,致使江苏徐州、连云港、宿迁和盐城等地 90% 以上的杨树林树叶均被杨树舟蛾幼虫吃光,有的地方甚至第 3 代幼虫吃光树叶后,第 4 代再次吃光树叶,严重影响了杨树产业林的正常生长。在宝应县杨树舟蛾发

生与生物及综合治理示范区,根据调查发现发生程度大于 II, $B=1$, $a=300$, 预警治理模型得出拟需要防治范围为 330 hm^2 。当年近 333.33 hm^2 范围采取了药剂加天敌微生物 *Bt* 减灾防治第 3 代杨扇舟蛾幼虫,应急治理面积占近 2.4%,其他区域均采取了释放 1 亿头周氏啮小蜂等生物控制和林农复合经营等营林措施,第 3 代杨扇舟蛾的虫口密度降为 (0.27 ± 0.15) 头/50 cm 枝,其应急治理效果 95.50%,至越冬杨扇舟蛾的虫口密度一直很低,治理示范区的示范效果得到了进一步显现(见表 6)。2011 年,对于宝应县 1.4 万 hm^2 杨树舟蛾发生与生物及综合治理示范区舟蛾的虫情,当年 7 月上中旬至 8 月中下旬持续阴雨,并伴有多次暴雨,第 3 代幼虫虫口密度的发生很低。在监测的同时,采取了释放 1 亿头赤眼蜂等生物控制和林农复合经营等措施,至第 4 代杨扇舟蛾的虫口密度均很低,治理示范区的示范效果得到了充分的肯定,进一步说明本专家系统的实用性和可操作性。

表 6 杨树舟蛾幼虫发生预警治理模型的应用示范效果

时间	≥ 6.0 头/50 cm 枝的面积/ hm^2	预警应急治理面积/ hm^2	应急治理面积占比/%	应急治理后虫口密度/(头/50 cm 枝)	应急治理效果
2009 年 5~6 月中旬	60	66.0	0.3	0.33 ± 0.47	95.92%
2010 年 6~7 月下旬	300	330.0	2.4	0.27 ± 0.15	95.50%
2011 年 7~8 月下旬	0	0	0	<0.2	控效明显

3 结论与讨论

3.1 杨树舟蛾生物控制技术的推广与示范效果^[9-11]

自 2009 年起,在江苏省宝应县建立杨树舟蛾发生与生物及综合治理示范区的基础上,选出天敌微生物高效菌株系天敌微生物 10 个以上,并摸索出科学的规模化生产技术流程;选出高效寄生天敌昆虫 3~4 个,年繁殖啮小蜂 3 亿头、赤眼蜂 3 亿头,形成规模化繁育能力;在扬州、淮安、盐城、宿迁及徐州等市用初步建立的杨树食叶害虫防治专家系统,按舟蛾发生数量等级分类实施杨树食叶害虫生物防治技术。在实施的区域范围内,按需要决策小范围用药剂加天敌微生物 *Bt* 应急减灾防治的面积、释放啮小蜂、赤眼蜂等寄生天敌的生物控制和林农复合经营等措施的面积,示范面积 6.67 万 hm^2 ,实现有虫无灾和增加杨树生长量。主要示范成果如下:

3.1.1 周氏啮小蜂防治杨树舟蛾示范 于 2009~2011 年在扬州市宝应县、淮安楚州区、盐城市建湖县、宿迁市宿豫区开展了用周氏啮小蜂防治杨树舟蛾示范。共释放周氏啮小蜂 5 亿头,并全部释放到示范区杨树林区防治杨小舟蛾、杨扇舟蛾,经调查,林间的寄生控制效果在 40%~52%。释放 30.0 万头/ hm^2 周氏啮小蜂放蜂区周氏啮小蜂对杨小舟蛾、杨扇舟蛾第 3,4 代卵的寄生率为 39.53%~43.0%;释放 37.5 万头/ hm^2 周氏啮小蜂,放蜂区周氏啮小蜂对杨小舟蛾第 3 代卵的寄生率为 44.60%~52.23%,2 个放蜂密度试验区均有较高的防治效果,考虑到防治成本建议在生产上选择以释放 30.0 万头/ hm^2 周氏啮小蜂防治杨小舟蛾和杨扇舟蛾,可有效控制林间舟蛾的虫口密度^[11]。

3.1.2 赤眼蜂防治杨树舟蛾示范 分别于 2011~2014 年 7 月下旬在江苏省泗阳县的放蜂试验,于当

年9月上旬第4代舟蛾卵期进行虫情及寄生率调查。在3种放蜂密度区调查发现,释放22.5,30.0,37.5万头/hm²赤眼蜂对杨扇舟蛾第4代卵的校正寄生率分别达35.26%,56.10%,64.24%,3个放蜂试验区的校正寄生率除释放22.5万头/hm²赤眼蜂放蜂区的校正寄生率略低外,其余2个试验区均有较高的寄生效果,且均取得了明显的寄生和生物防治效果,考虑到释放赤眼蜂的防治成本,在生产上建议选择以释放30.0万头/hm²赤眼蜂防治杨扇舟蛾。

3.1.3 林农复合经营措施控制杨树舟蛾示范 于2009~2011年在江苏省林业科学研究院及淮安市和扬州市宝应县的大力推动下,研究成果迅速得到推广应用。目前,淮安市涟水、盱眙、徐州新沂市,扬州市宝应县、宿迁市泗阳县、宿豫区,盐城市建湖县和泰州市泰兴县等8个市区(县)的杨树林采用了适宜当地情况的复合经营模式,示范面积总计20万hm²以上。经调查,用林农复合经营等措施控制杨树林区的杨小舟蛾、杨扇舟蛾示范区基本上实现了有虫无灾,取得了较明显的示范控制效果。

3.2 专家系统决策应急控灾技术示范^[9-11]

于2009~2011年构建的1套杨树食叶害虫防治专家系统,应用到宝应县等1.4万hm²杨树舟蛾发生与生物治理示范区,累计用灭幼脲及阿维菌素等高效低毒药剂加天敌微生物*Bt*(*Bt*制剂按商品使用说明)在害虫幼龄期施用,分别应急治理面积为66.67,333.33hm²,其余林分释放赤眼蜂、周氏啮小蜂等天敌和林农复合经营等系统决策措施控制危害,对杨小舟蛾、杨扇舟蛾的控灾效果为95%~100%,大幅度减低了示范区内杨树舟蛾的虫口密

度,为大面积示范区维持低虫口密度起到了关键作用,实现了高效、无公害、可持续治理的目标。同时,通过天敌防治技术的推广,在杨树食叶害虫舟蛾发生区域释放啮小蜂、赤眼蜂等寄生天敌近20亿头,取得了显著的防治效果。

参考文献:

- [1] 郭同斌,杜伟,刘忠刚,等. 杨小舟蛾的发生规律[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(5):115-118.
- [2] 张洪喜,周栓菊,于福丽,等. 冀东地区杨扇舟蛾生物学特性及无公害防治研究[J]. 河北农业技术师范学院学报,1995,9(2):40-45.
- [3] 张执中. 森林昆虫学[M]. 北京:中国林业出版社,1997:287-288.
- [4] 郑子青. 杨树食叶害虫杨小舟蛾生物学特性研究及防治技术研究[J]. 河南林业科技,1995,15(1):18-20.
- [5] 郭同斌,王振营,梁波,等. 树干注射技术防治杨小舟蛾的研究[J]. 中国森林病虫,2001,20(1):16-18.
- [6] 敖向阳,詹有生,廖星炎. 赣林1号树干注射防治杨小舟蛾试验[J]. 江西林业科技,1997(3):25-26.
- [7] 王军,王井泉. 苏北地区杨树主要害虫及其防治[J]. 河北林业科技,2001(3):41-43.
- [8] 张显政,黄政龙,黎前良,等. 杨扇舟蛾防治指标的研究[J]. 中南林学院学报,1993,13(2):158-163.
- [9] 高悦,解春霞,王光标,等. 释放松毛虫赤眼蜂控制苏北地区杨树舟蛾的防效[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2013,37(2):92-96.
- [10] 汤吉利,施乃志. 根部滴灌内吸杀虫剂防治杨扇舟蛾等害虫试验[J]. 江苏林业科技,2001,28(6):26-28.
- [11] 徐明,王光标,王丽,等. 周氏啮小蜂规模繁放及HcNPV与*Bt*混剂对美国白蛾的防治效果研究[J]. 江苏林业科技,2014,41(3):5-9.