林业科学研究 2014,27(1):053～058
Forest Research

文章编号:1001-1498(2014)01-0053-06

杨小舟蛾羽化节律及羽化率影响因子分析

范立鹏[1], 张 真[1*], 刘艳侠[2], 于占晶[3], 孔祥波[1], 王鸿斌[1], 张苏芳[1]

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,国家林业局森林保护重点实验室, 北京 100091;
2. 江苏省丰县农业委员会,江苏 丰县 221700;3. 衡水学院生命科学学院,河北 衡水 053000)

摘要:通过野外观察和实验室可控条件下的测定,研究了杨小舟蛾蛹的羽化日节律特征和第1～4代羽化进程差异,统计了各代次羽化率和历期,分析了其羽化影响因子。结果表明:杨小舟蛾蛹羽化表现为"驼峰型"节律特征,羽化高峰出现在4:00和17:00;其1～4代蛹在相同羽化条件下羽化进程存在差异,羽化完成总虫数80%所需时间逐渐缩短,相同世代雌雄羽化高峰间隔也逐渐缩短;杨小舟蛾蛹1～4代在相同羽化条件下的平均羽化率间存在显著差异,分别为(31.41±1.16)%、(43.67±1.84)%、(38.20±1.39)%和(27.81±2.42)%;各代羽化历期存在显著差异,分别为(10.71±0.45)、(8.56±0.17)、(6.88±0.68)、(6.43±0.66) d。羽化影响因子分析表明:不同温度和湿度处理间羽化率存在显著差异,较好的组合为光期温度(30±1) ℃、暗期温度(24±1) ℃,光期湿度(50±10)%、暗期湿度(70±10)%,光周期处理间差异不显著。

关键词:杨小舟蛾;节律;羽化率;温度;相对湿度;光周期
中图分类号:S763 **文献标识码**:A

Factors Impacting the Emergence Rhythm and Rate of *Micromelalopha sieversi* (Lepidoptera: Notodontidae)

FAN Li-peng[1], *ZHANG Zhen*[1], *LIU Yan-xia*[2], *YU Zhan-jing*[3],
KONG Xiang-bo[1], *WANG Hong-bin*[1], *ZHANG Su-fang*[1]

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Protection, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Agriculture Committee of Fengxian County of Jiangsu Province, Fengxian 221700, Jiangsu, China; 3. College of Life Science, Hengshui University 053000, Hebei, China)

Abstract: Based on field observation and indoor study on the eclosion rhythm characteristics, the difference in eclosion process from 1st to 4th generation, the statistics of eclosion rate and the eclosion period of generations were investigated. The factors impacting eclosion were analyzed by orthogonal experimental design. The results showed that the eclosion of *Micromelalopha sieversi* (Staudinger) showed the "hump" rhythm characteristic, one peak at 4:00 and another one at 17:00. There were differences in eclosion process from the first generation to the 4th generation under the same condition. The period in which 80% eclosion finished became shorter in every generation, and so was the interval of peak between the male and female emergence in the same generation. The average emergence rates among first generation to 4th generation were significantly different which were (31.41±1.16)%, (43.67±1.84)%, (38.20±1.39)% and (27.81±2.42)% respectively. The development durations among first genera-

收稿日期: 2013-07-08
基金项目: 国家林业公益性行业专项"森林病虫害生物控制及火灾生态调控技术研究"(201004003-1)
作者简介: 范立鹏,博士研究生. 主要研究方向:化学生态. E-mail:flpcaf@163.com
* 通讯作者:研究员,博士生导师. 主要研究方向:主要从事昆虫生态学、化学生态和害虫生态管理研究工作. E-mail:zhangzhen@caf.ac.cn

tion to 4th generation were also significantly different which were (10.71 ± 0.45), (8.56 ± 0.17), (6.88 ± 0.68) and (6.43 ± 0.66) d respectively. Statistical results verified that the eclosion rates were significantly difference among different temperature and relative humidity treatments, but not among the different photoperiod treatments. The best temperature of photophase was (30 ± 1) ℃, and the dark period temperature was (24 ± 1) ℃, and the humidity were photophase (50 ± 10)%, dark period (70 ± 10)%.

Key words: *Micromelalopha sieversi* (Staudinger); rhythm; emergence rate; temperature; relative humidity; photoperiod

杨小舟蛾(*Micromelalopha sieversi* (Staudinger))隶属于鳞翅目(Lepidoptera)舟蛾科(Notodontidae),广泛分布于我国中东部十几个省份,其爆发时经常会将树叶全部吃光,严重影响树木生长,造成巨大经济损失和环境破坏,是我国杨树人工林最重要的食叶害虫之一[1-2]。面对杨小舟蛾的危害,我国自20世纪60年代起陆续有学者以杨小舟蛾为对象进行研究。

国内学者报道了杨小舟蛾幼虫取食危害特点、虫体发育进度、成虫羽化时间、成虫交配行为、成虫产卵行为等,然而由于研究所处地域、供试昆虫代次,林间虫情状态不同造成对其生物学习性的报道存在差异。张军灵等[3]报道,5—8月降水量和相对湿度大的月份杨小舟蛾发生严重;而郑子清等[4]和郭同斌等[5]研究认为,暖冬和干旱高温气候极易造成杨小舟蛾暴发成灾,暖冬造成害虫越冬成活率上升,干旱高温有利于生长发育,湿度过高容易造成流行病的发生从而降低虫口密度。

羽化是杨小舟蛾进入成虫期前所经历的重要生长阶段。近年来,国内学者围绕该虫开展的相关研究表明,该虫生殖力高,发育发展迅速,易短期内暴发成灾,受气候因素影响明显,羽化过程同样受到各种环境因子作用从而使羽化节律、羽化历期和羽化率发生变化,同时由于气候的差异造成杨小舟蛾世代间羽化节律的差异,而羽化进程所发生的变化直接关系到昆虫种群结构变化及求偶、交配策略的调整,乃至下个世代种群的发生规模[6-7]。因此,有必要明确环境因子与昆虫的发生、发育、生存和繁殖等的关系,进而应用于害虫治理,以丰富害虫综合防治手段[8]。本文通过室内实验和室外观察对杨小舟蛾羽化日节律,主要发生世代的羽化进程、羽化率及历期进行了统计分析,对重要环境影响因子—温度、湿度和光周期对杨小舟蛾羽化率的影响进行探讨,阐明了杨小舟蛾的羽化规律和影响因素,以期为该害虫的预测和防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

试验所需杨小舟蛾蛹于2012年5—8月采自江苏省徐州市丰县大沙河堤护林区,林分类型为5年生黑杨107纯林,轻度受害(全年未防治)。蛹的采集方式为林间老熟幼虫自然化蛹后收集。具体方法:当监测到林间杨小舟蛾处于老熟幼虫阶段时,大量采集下树化蛹的老熟幼虫,饲喂于铺有林间枯落物的养虫笼中,置于林间待其化蛹。每日检查化蛹情况,将同1 d化成的蛹收集起来作为供试虫源。第1～4代蛹采集日期分别为5月21日、6月18日、7月15日和8月5日。

1.2 试验方法

1.2.1 杨小舟蛾日羽化节律 将第2代杨小舟蛾蛹雌雄各640头放入自制的羽化托盘,移至人工气候箱(日立NK system * Biotron NC Type)进行羽化。羽化条件:L/D = 16/8,光期温度26 ℃ ± 1 ℃、湿度50% ± 10%;暗期温度20 ℃ ± 1 ℃、湿度70% ± 10%。每隔1 h记录羽化虫数,连续观察记录15 d。

1.2.2 杨小舟蛾蛹第1～4代羽化进程 将杨小舟蛾蛹雌雄各160头放入至人工气候箱进行羽化,羽化条件同1.2.1。每24 h记录羽化虫数,连续记录30 d,重复5次。2012年试验总共处理第1～4代蛹,每代总处理雌雄虫各800头。

1.2.3 杨小舟蛾蛹各代羽化率及羽化历期统计 将杨小舟蛾蛹雌雄各160头放入人工气候箱进行羽化,羽化条件同1.2.1。每日记录羽化数,直至连续5 d不再有羽化出现,统计羽化总虫数,重复5次。2012年试验总共处理第1～4代蛹,每代处理总雌雄虫各800头。

1.2.4 杨小舟蛾羽化影响因子分析 将杨小舟蛾蛹放入人工气候箱进行羽化,采用$L_9(3^4)$多因素正

交试验考察温度、湿度和光周期对杨小舟蛾蛹羽化率的影响,各羽化处理条件见表 1。每组实验处理 40 头,重复 4 次,总计处理虫数 1 440 头。

表 1　杨小舟蛾羽化影响因子试验设计

水平	A 温度/℃		B 湿度/%		C 光周期/h	
	光期	暗期	光期	暗期	光期	暗期
1	22 ± 1	16 ± 1	20 ± 10	40 ± 10	12	12
2	26 ± 1	20 ± 1	50 ± 10	70 ± 10	14	10
3	30 ± 1	24 ± 1	80 ± 10	100	16	8

1.2.5　*统计方法*　杨小舟蛾羽化节律,各世代羽化率及羽化历期采用 Spss 18.0/one-way ANONA/Duncan 方法进行多重比较统计分析,羽化影响因子实验采用 Spss 18.0/General Linear Model /Univariate 进行多因素方差分析。

2　结果与分析

2.1　杨小舟蛾日羽化节律

杨小舟蛾蛹表现为“驼峰型”日羽化节律。雌蛹日羽化最高峰出现在 17:00,次高峰出现在 4:00;雄蛹日羽化最高峰比雌蛹提前 1 h 出现,次高峰比雌蛹推迟 1 h 出现;雌蛹羽化最高峰羽化率是其次高峰的 1.69 倍,二者存在显著性差异($P < 0.05$),相比其他时段差异极显著($P < 0.01$);其余时间段间羽化百分比差异不显著。

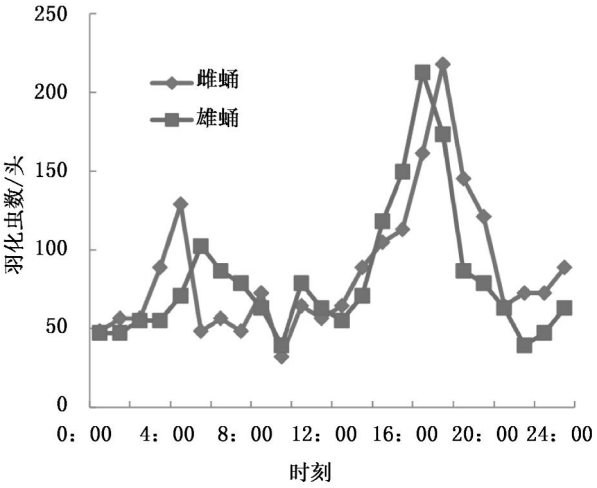


图 1　杨小舟蛾羽化日节律

2.2　杨小舟蛾第 1 ～4 代羽化进程分析

杨小舟蛾蛹羽化进程各代次间存在差异,第 1 代老熟幼虫化蛹后雌蛹需 13 d 进入羽化高峰期,雄蛹比雌蛹提前 4 d(图 2);第 2 代雌蛹羽化高峰出现在第 10 d,雄蛹羽化高峰比雌蛹提前 3 d(图 3);第 3 代雌蛹羽化高峰出现在第 7 d,雄蛹比雌蛹提前 1 d 出现羽化高峰(图 4);第 4 代雌蛹羽化高峰出现在第 5 d,雄蛹则比雌蛹推迟 1 d 出现羽化高峰(图 5)。整体看,杨小舟蛾雌雄蛹从第 1 代至第 4 代出现羽化高峰所需的时间逐渐缩短,雌雄蛹间羽化高峰出现的时间间隔逐渐缩小。雌蛹只有 1 个高峰期,高峰期后日均羽化虫数迅速减少,羽化高峰期与其他羽化时段相比差异显著;雄蛹 1 ～2 代均有 2 个相对明显的羽化高峰期,3 ～4 代仅有 1 个羽化高峰。

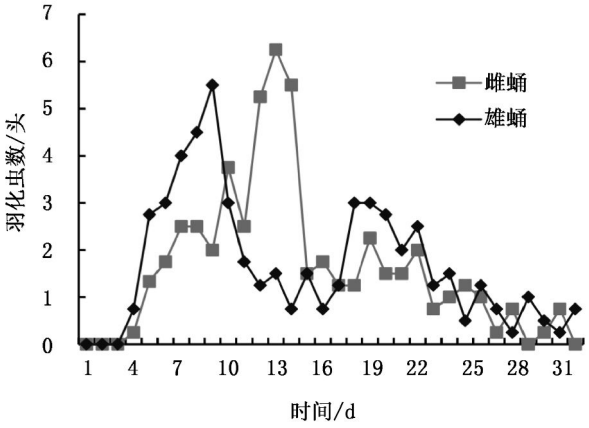


图 2　杨小舟蛾 1 代蛹羽化进程

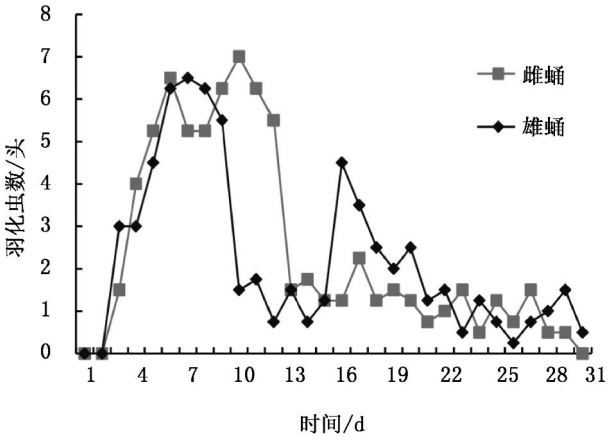


图 3　杨小舟蛾 2 代蛹羽化进程

2.3　杨小舟蛾各代羽化率及羽化历期统计

图 6 表明:杨小舟蛾各代次蛹羽化率存在差异,其中,雌蛹平均羽化率第 2 代最高,第 4 代最低,二者差异显著($P < 0.05$),第 2 代与第 3 代差异不显著;雄蛹平均羽化率第 2 代最高且与其余各代差异显著,第 1 代与第 4 代差异不显著;雌雄蛹相同代次间平均羽化率差异不显著。图 7 表明:杨小舟蛾蛹 1

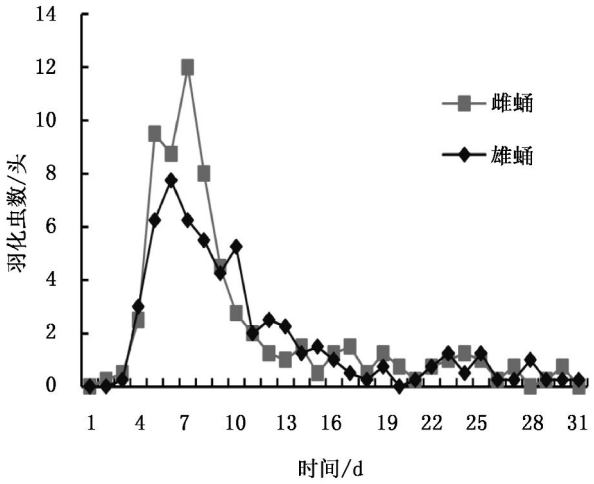


图4 杨小舟蛾3代蛹羽化进程

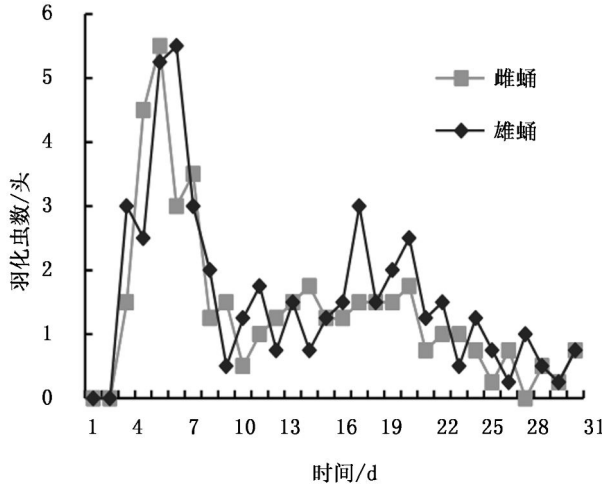
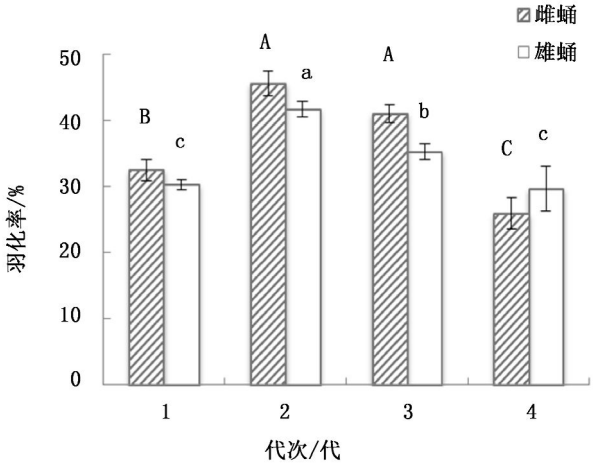
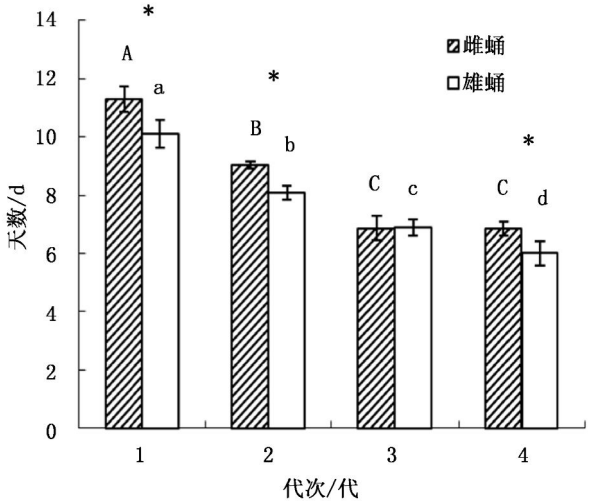


图5 杨小舟蛾4代蛹羽化进程



不同大(小)写字母表示各代雌(雄)蛹羽化率差异显著($P \leq 0.05$)

图6 杨小舟蛾1～4代蛹羽化率



不同大(小)写字母表示各代雌(雄)蛹羽化率差异显著($P<0.05$)

*表示同代雌雄蛹间羽化率差异显著($P<0.05$)

图7 杨小舟蛾蛹羽化历期

～4代整体羽化历期呈逐渐缩短趋势;雄蛹各代间历期差异显著,雌蛹3、4代间历期差异不显著;雌蛹最长历期发生在第1代,历期峰值为11.74 d,最低值发生在第3代,历期6.52 d;雄蛹最长历期发生在第1代,历期峰值为10.61 d,最低值发生在第4代,历期5.67 d。

2.4 杨小舟蛾羽化影响因子分析

检验结果(表2)表明:温度对杨小舟蛾蛹的羽化影响极显著($F=679, P<0.01$),湿度对羽化影响显著($F=67, P<0.05$),各光周期处理无显著差异($F=13, P>0.05$)。图8表明:杨小舟蛾室内最佳羽化条件组合为:温度的第3个水平、湿度的第2个水平、光周期的第3个水平,即光期温度(30±1)℃、暗期温度(24±1)℃;光期湿度(50±10)%、暗期湿度(70±10)%;光周期16L:8D。

表2 杨小舟蛾羽化影响因子效应检验

项目	平方和	自由度	均方	F值	P值
校正模型	168.667	6	28.111	253.00	0.004
截距	2 952.111	1	2 952.111	26 569.00	0.000
温度	150.889	2	75.444	679.00	0.001
光周期	2.889	2	1.444	13.00	0.071
湿度	14.889	2	7.444	67.00	0.015
误差	0.222	2	0.111		
总计	3 121.000	9			
校正总计	168.889	8			

3 结论与讨论

昆虫羽化受光周期影响而表现出一定的节律已在很多昆虫研究中有报道[9],本研究亦发现杨小舟蛾羽化率在一天之中存在节律性,具体表现为黎明

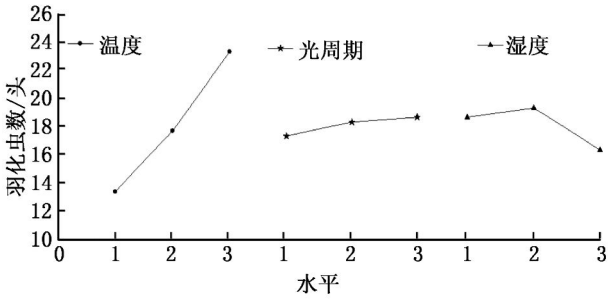


图 8　杨小舟蛾羽化因子影响效应曲线

傍晚前低后高的“驼峰型”羽化节律,与先前报道的傍晚“单峰”羽化节律存在差异[10]。该昆虫雌雄个体间羽化日节律的差异可能与补充营养、交配、繁殖、栖息有一定关联,同时在不同光周期条件下的羽化日节律变化还有待进一步探讨。

杨小舟蛾各世代羽化进度与气温的关系已有报道[5,11],本研究发现,2012 年 1 ～4 代杨小舟蛾蛹在相同温度、湿度、光周期条件下羽化历期逐渐缩短,表明在自然条件下各世代羽化历期的差异不仅仅由气候因素引起,其内部的发育机制也可能是其产生差异的原因;由于不同世代种群内性比存在差异,相同世代雌雄羽化高峰间隔的逐渐缩短可能与其配偶选择及交配策略有一定联系。

昆虫的羽化与环境因子有紧密的联系,环境温度、湿度、光周期从不同角度上影响昆虫的羽化进程。研究结果表明:影响杨小舟蛾羽化的环境主导因子为温度,较高的日平均温度有利于缩短昆虫蛹的发育历期,加快羽化进程,同时降低了蛹发育过程中其他不利因素的伤害,提高了羽化率;空气相对湿度过高或过低均不利于蛹的羽化。杨小舟蛾“喜干喜湿”一直存有争论,张军灵等[3]报道,在相对湿度和降水量大的年份杨小舟蛾发生更严重;郑茂灿等[6]也认为,杨小舟蛾成虫发生量与当月相对湿度和降水量正相关;而郭同斌等[5]和郑子清等[4]却研究发现,暖冬和干旱气候易导致该害虫的大发生,较高的相对湿度有利于颗粒体病毒流行造成害虫种群密度降低。

环境湿度包括土壤湿度和大气湿度,土壤湿度又包括土壤内的液态水(即土壤含水量)和土壤中的空气湿度。土壤空气湿度通常是饱和的(相对稳定),对昆虫的影响较小;而土壤含水量变化却较大,对昆虫的影响也大。

笔者从以上研究报道比较中发现,其实所有观点或许并不冲突,昆虫发育的各个阶段对湿度有着不同的适应度:对于昆虫蛹期,较高的降水量使大多数土中化蛹昆虫的蛹室和羽化通道遭到破坏[12],土壤含水量升高增加了昆虫蛹期与致病性真菌细菌接触的机会[13-14],从而降低了羽化率,同时含水量的增加也不利于昆虫在土壤中的爬行和钻掘,较高的空气相对湿度也不利于昆虫成虫飞行而影响为害扩散规模[15];对昆虫低龄幼虫而言,较低的空气湿度不利于其发育,易造成体内水分失衡,产生各种反常行为,但干燥环境对高龄幼虫影响不大,高龄幼虫可以通过大量取食来保持体内水分平衡[16];同样,大多数昆虫卵的发育也需要一定的空气湿度,初产卵和近孵化卵对于空气湿度极为敏感,这 2 个阶段分别由于昆虫卵表致密的半透性保水浆膜表皮没有形成和酶解消失,造成卵内水分流失影响发育[17]。

需要指出的是,以上研究可能由于地区气候条件存在较大差异而造成对降水量较大年份的理解不同。张军灵等[18]研究的观测样地位于陕西关中西部干旱地区,其研究所在年份(1997 年)的夏季降水量为 100 ～150 mm,在当地属于降水较多年份,而持相反观点的学者研究区域集中在我国中东部苏沪及附近地区[19-22],其夏季平均降水量为 280 ～630 mm。另外,利用空气相对湿度和土壤相对湿度来评价昆虫对湿度的适应性在量值上也存有较大差别。

自然界中影响昆虫种群变化的因素很多,相同环境因素在昆虫发育的不同时期对其影响也不同。本研究仅对杨小舟蛾羽化阶段的节律变化特征和影响因子做了部分探讨,且部分结论建立在实验室理想条件下得出的,这与生产中复杂的环境条件的实际情况可能存在差异,但本研究结果对我国杨树人工林防治杨小舟蛾具有一定的指导意义,特别是对成虫发生期的短期预测和设置性信息素诱芯诱杀成虫方面有较大的参考利用价值。

参考文献:

[1] 武春生,方承莱.《中国动物志》(昆虫纲 鳞翅目 舟蛾科)[M]. 北京:科学出版社,2003

[2] 萧刚柔. 中国森林昆虫(第二版)[M]. 北京:中国林业出版社,1992:1027

[3] 张军灵,王小纪,高存劳,等. 杨小舟蛾自然种群动态的研究[J]. 陕西林业科技,1999(4):10 -13

[4] 郑子清,王尊令,栗正文,等. 杨树食叶害虫杨小舟蛾生物学特性及防治技术研究[J]. 河南林业科技,1995(1):18 -20

[5] 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,2006,30(5):115 -118

[6] 郑茂灿,吴小芹,钱范俊,等. 杨小舟蛾在上海地区的发生规律

及其预测预报[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(3):113-116

[7] 侯丽伟,王福维,李晓颖,等. 杨小舟蛾短期预测预报研究[J]. 林业科学研究,1999,12(6):169-172

[8] Fitt G P. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosy stems [J]. Annual review of entomology,1989,34:17-52

[9] Beck S D. Insect Photoperoidism[M]. New York: Academic Press, Inc,l985:387

[10] 高忠喜,侯丽伟,陈域横. 杨小舟蛾羽化规律的研究初报[J]. 吉林林业科技,1997(12): 18-19

[11] 黄范全,邓元会,李青春,等. 洞庭湖区杨小舟蛾生物学特性研究[J]. 湖南林业科技,2011,38(1):5-8

[12] Fye R E. Pupation Preferences of bollworms, Tobacco budworms, and Beet Armyworms and Impact on Mortality Resulting from Cultivation of Irrigated Cotton[J]. Journal of Economic Entomology, 1978,71:570-572

[13] Riis L, Peter E. Movement. distribution and survival of *Cyrtomenus berji* within the soil profile in experimentally simulated horizontal and vertical soilwater gradients[J]. Environmental entomology, 1998,27:1175-1181

[14] Ge F, Chen F J, Para ju lee M N, *et al*. quantification of diapausing fourth generation and suicidal fifth generation cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in cotton and corn in northern China[J]. Entomologia experimentalis et applicata,2005,116:1-7

[15] Riis L, Peter E. Season and soil moisture effect on movement, survival and distribution of *Cyrtomenus bergi* within the soil profile [J]. Environmental entomology,1998,27:1182-1189

[16] 钦俊德. 粘虫营养的研究——食物中和环境中水分对幼虫生长的影响[J]. 昆虫学报,1967,13(5):654-669

[17] Potter D A. Effect of soil moisture on oviposition, water absorption, and survival of southern masked chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) eggs[J]. Environmental entomology,1983,12:1223-1227

[18] 李俊霖,延军平,孙 虎,等. 关中平原东、中、西部气候干旱化程度比较分析[J]. 干旱区资源与环境,2005,19(1):131-134

[19] 王 焱,李 军,葛建明,等. 林地小气候效应及对4种主要害虫的影响[J]. 南京林业大学学报,2004,28(6):115-117

[20] 陈素伟,陈汝敏,耿以龙,等. 气候因素对杨小舟蛾生长发育的影响[J]. 山东林业科技,2010(3):54-56

[21] 李彦民,刘茂松,王 平,等. 土壤湿度对杨小舟蛾蛹羽化及存活的影响研究[J]. 现代农业科技,2010(20):172-173

[22] 刘茂松,李彦民,李俊霞. 平原地区降雨量对杨小舟蛾蛹发育与存活的影响分析[J]. 气象与环境科学,2012(35): 55-57