

# 植保无人机施药技术研究进展

宋雷洁 李建平\* 杨欣 王鹏飞 刘洪杰

(河北农业大学机电工程学院,河北保定 071001)

**摘要** 农用植保无人作业机是农业生产中防治病虫害的新兴植保装备之一。通过分析、总结近几年植保无人机在田间病虫害防治、智能调控、作业航路规划等方面的施药技术研究与应用,分析植保无人机作业模式与作业特点,明确了现阶段利用植保无人机进行病虫害防控的发展趋势,以期为植保无人机的推广应用提供参考。

**关键词** 无人机;智能;喷雾;病虫害防控

**中图分类号** S43;S252+.3 **文献标识码** A **文章编号** 1007-5739(2019)11-0125-04

## Research Progress on Pesticide Application Technology for Plant Protection Drone

SONG Lei-jie LI Jian-ping\* YANG Xin WANG Peng-fei LIU Hong-jie

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei 071001)

**Abstract** Agricultural plant protection drone is one of the new plant protection equipment for pest control in agricultural production. Through analysis and summary of research and application of drone pesticide application technology in plant pest control, intelligent regulation, and operation route planning and so on in recent years, the operation mode and characteristics of plant protection drones were analyzed, and the development trend of using plant protection drones to prevent pests and diseases was clarified at this stage, in order to provide references for the promotion and application of plant protection drones.

**Key words** drone; intelligence; spray; pest and disease prevention and control

随着我国农业的飞速发展,农业病虫害防治依然是农业生产的重要内容,喷施化学农药是现阶段果园及农田防治病虫害的主要方法。但近年来我国农村劳动力人口不断减少,农业劳动力短缺、用工成本高等现象在一定程度上阻碍了病虫害防治工作的开展<sup>[1]</sup>。为了实现快速高效地防治病虫害,亟需利用更先进科学的施药技术代替传统的植保作业方式。相比于传统施药作业方式,农用无人机在植保作业中表现出了明显的特点和优势。

### 1 农用无人机发展现状

目前,我国植保作业投入的劳动力多且劳动强度大,使用手动喷雾器与背负式机动喷雾器分别约占国内植保机械的93.07%和5.53%<sup>[2]</sup>。但传统喷雾器械工作效率低,作业时间长,农药利用率低,有50%~70%的农药流失到土壤或飘移到环境中,大部分农药不仅没有起到防控作用,反而污染了环境<sup>[3]</sup>。植保无人机具有高效省药等优点,成为农业植保领域的一个利器<sup>[4]</sup>。近年来,为了提高植保作业效率,降低农业植保的污染度,植保无人机已经在部分地区使用<sup>[5]</sup>。无人机喷药相比于传统喷药方式,具有很多优点。但是其发展和需求仍然存在着较大的不平衡,我国植保无人机航空施药面积占总耕地面积的比例不足2%<sup>[6]</sup>。随着科技的发展,我国植保无人机已转化成了多种化的植保方式,为实现减量控害、提高作业效率、降低劳动力成本、科学使用农药、降低损耗,植保无人机在农业上的应用将会更广泛<sup>[7]</sup>。

### 2 植保无人机结构及工作原理

无人机喷药是用植保无人机将农药带到作物上空,从

上往下喷洒农药杀灭病虫害的一种作业方式。无人机植保起源于1987年的日本,2012年后在我国正式推广<sup>[8]</sup>。

农业植保无人机主要由动力系统、喷洒系统、飞控系统部分组成。其中,常见的动力系统为电力动力系统,主要包括无人机的动力电池、电机、电子调速器、旋翼等部分,为无人机的运行提供动力能源;喷洒系统为植保无人机进行施药作业的主要工作部件,在整机结构中具有重要作用;飞控系统是指无人机的控制系统,用于提供控制与决策指令,使无人机完成GPS定位、导航、数据采集等工作<sup>[9]</sup>。

无人机是通过电机的旋转,使螺旋桨产生升力,当飞机全部旋翼同时产生的升力之和等于飞机自身总重量时,飞机的升力与重力相平衡,飞机就会自动保持悬停状态。通过调节电机转速,可以改变各个旋翼的转速,实现升力的变化,控制飞行器的运动状态<sup>[10]</sup>。当全部旋翼产生的升力之和大于无人机机身总重量时,无人机向上飞起;反之则下降。当无人机后端旋翼转速增大、前端旋翼转速降低时,无人机前进;反之则后退。当左侧旋翼转速增大、右侧旋翼转速降低时,无人机向右侧飞行;反之则向左侧飞行。

无人机喷洒农药,更省时省力、省水省药,在提高作业效率的同时节约成本。作业不受地形、作物长势限制,能够适应不同的施药环境,操作灵活<sup>[11]</sup>。且可通过远距离遥控操作作业任务,避免了作业人员暴露在农药之下的危险,保障了人员的安全。

近年来,我国广大研究学者从不同方面对无人机植保技术进行了研究。

### 3 无人机植保技术

#### 3.1 无人机田间植保技术

刘道奇等<sup>[12]</sup>通过应用3W16-10型多旋翼植保无人机开展喷雾均匀性试验,得到的最佳作业参数为飞行高度1.39 m、飞行速度2.38 m/s、喷雾压力0.5 MPa。

陶波等<sup>[13]</sup>利用植保无人机开展田间飞防试验,对比田间杂草防效,分析了植保无人机最佳作业状态,并提出了无

**基金项目** 国家重点研发计划(2016YFD0201100);河北省现代农业产业技术体系水果创新团队(HBCT2018100205);河北农业大学社科基金和理工基金(ZD201701, LG201703);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-27)。

**作者简介** 宋雷洁(1993-),女,河北邢台人,在读硕士研究生。研究方向:农业机械设计研究。

\*通信作者

**收稿日期** 2019-02-20

人机作业状态为飞行高度 1 m、飞行速度 5 m/s、喷液流量 1 800 mL/min。

李继宇等<sup>[14]</sup>通过试验检测了无人机形成的不同粒径雾滴在水稻冠层的沉积效果及穿透性,结果表明,水稻冠层下部的雾滴沉积量均高于上部和中部;且喷雾粒径越小,单位面积药液沉积量越多,雾滴穿透性也越好。

胡中泽等<sup>[15]</sup>通过进行田间药效试验得出,相比于电动喷雾器防治处理,无人机防治处理在第 10 天对病害的防治效果更好;添加助剂处理的发病率和病情指数均低于不加助剂的,说明助剂能够辅助提高小麦植株对药液的吸收能力,显著提高对病虫害的防治能力。

胡红岩等<sup>[16]</sup>提出,在棉花生产过程中,尤其是生长中后期,棉花冠层叶片相互遮挡严重,采用植保无人机喷施脱叶剂,可以极大地提高作业效率和脱叶催熟效果。

淦城等<sup>[17]</sup>研究表明,无人机田间作业能避免作业期间因踩踏产生的油菜损伤,作业效率高、节水、省工、劳动强度低,节本增收效益明显。

颜贞龙等<sup>[18]</sup>通过进行植保无人机与常规电动喷雾机防治水稻病虫害的药效对比试验发现,在使用相同药剂条件下,水稻分蘖盛期、孕穗末期植保无人机施药纹枯病病指防效分别为 90.3%和 94.7%,均明显优于常规电动喷雾机施药药效(分别为 84.4%和 49.7%)。

宁国云等<sup>[19]</sup>采用植保无人机、担架式机动喷雾机和背负式电动喷雾机施药进行水稻病虫害防治试验,结果表明,植保无人机在正常情况下,每 3 人一组,作业效率可达 2 hm<sup>2</sup>/h,是背负式电动喷雾机的 10 倍,是担架式机动喷雾机的 3 倍,极大地提高了作业效率、降低了劳动强度。

张莉等<sup>[20]</sup>通过使用极飞 P20 植保无人机对水稻田稻飞虱进行田间药效试验发现,植保无人机能减少作业用水量,由传统电动喷雾的 450 kg/hm<sup>2</sup> 减少至 7.5 kg/hm<sup>2</sup>,较常规电动喷雾机喷药省工省时。

陈春玲等<sup>[21]</sup>研究了多旋翼植保无人机低空喷施作业过程中水稻冠层雾滴沉积的分布规律,结果发现,植保无人机有效喷幅内旋翼下方区域的雾滴覆盖效果最好,远离旋翼的位置雾滴覆盖率较差,雾滴冠层覆盖率为 54.86%。

蒙艳华等<sup>[22]</sup>通过研究植保无人机高浓度低容量和背负式喷雾器大容量低浓度喷施 30% 戊唑醇悬浮剂防治小麦病害发现,植保无人机处理组中 30% 戊唑醇悬浮剂在麦穗和麦叶中的原始沉积量显著高于背负式喷雾器。

文纯杰等<sup>[23]</sup>对牵引式吊机喷雾机车与植保无人机用于棉花脱叶作业的脱叶效果进行对比,结果发现,同机车作业相比,无人机作业既减少了人工分行的费用,还无挂落棉桃的弊端;并提出无人机喷药将是今后棉田脱叶剂施药的较好选择。

苏小记等<sup>[24]</sup>研究了常用植保机械对农作物病虫害防治的应用效果,结果表明,电动喷雾器、机动弥雾机和自走式喷杆喷雾机沉积率较高,达到 51.4%~63.7%;单旋翼无人机和地面喷雾机械防治效果达到 80% 以上,优于其他低空低量植保机械。

赵冰梅等<sup>[25]</sup>利用 KT-10-II 型四旋翼植保无人机开展了

玉米灌浆期三点斑叶蝉的防治试验,结果表明,KT-10-II 型四旋翼无人机施药时,在飞行作业高度距玉米植株冠层 1 m、飞行速度 6 m/s、施药液量 15 L/hm<sup>2</sup> 的条件下,螺旋桨产生的下旋气流能很好地使雾滴具有穿透性,保证玉米植株上、中、下部均能着药。

胡红岩等<sup>[26]</sup>通过雾滴测试发现,植保无人机在棉田作业过程中,不同采样点雾滴沉积分布情况存在较大差异,中心航线附近采样点的雾滴沉积量较大,而远离航线的旋翼两侧采样点的雾滴沉积量较小。

综上所述可知,采用植保无人机在田间进行施药作业,可显著提高药液雾滴在作物冠层中的沉降,从而提高农药利用率,达到防治效果;同时可避免机械下地作业时对作物造成的损伤,减少损耗。

### 3.2 无人机智能喷雾技术

无人机施药在实际作业过程中既可依据作业对象精准变量施药,降低农药用量,减少农药残留;也可以对病害的发展情况进行实时监测,采集农业信息<sup>[27]</sup>。朱超等<sup>[28]</sup>设计了一种高效自适应喷雾植保无人机,结果发现,设计研发的喷雾植保无人机在飞行过程中能根据植株密度进行自适应可靠控制喷药流量,施药量明显降低,较常规作业喷药量平均降低 16.63%,施药作业雾滴沉积量较均匀。

王金星等<sup>[29]</sup>设计了一种实验室变量喷药沉积试验测试系统,确定雾化喷头最佳工作电压为 10 V;通过水稻田间试验,确定最佳作业高度为 2.0 m,作业速度为 1.0 m/s。

白明亮等<sup>[30]</sup>设计了基于 Web 的无人机三维仿地飞行规划,较传统的农业植保方式更加快速高效,能准确完成植保任务。

明宇<sup>[31]</sup>研究了一种基于视觉的植保无人机避障,使用 MATLAB 软件进行了仿真,表明该方法可以实现植保无人机的避障功能。

王军等<sup>[32]</sup>设计研发了一种无人机植保无线数据传输采集控制系统,通过反复应用及测试,该系统运行平稳、性能可靠,可实现植保作业的数据精准化、控制变量化。

吴冬<sup>[33]</sup>设计研究了一种基于 GPS 和 GPRS 的混合农业植保无人机高精度定位系统,并对系统进行了测试,结果表明,所设计的系统能够有效满足无人机对定位精准性的要求,且所设计的定位系统质量轻、投入低,能够实现无人机自主导航服务。

韩宾等<sup>[34]</sup>提出了一种新的弯道姿态控制算法,对弯道处航路进行重新规划,由“几”字形航路变为更适合转弯的曲线航路。通过对比试验发现,对于同一架植保机,在相同作业条件下,采用弯道姿态控制算法转弯植保机作业效率提高了 20%。

吴开华等<sup>[35]</sup>提出了一种基于结构光视觉的植保无人机障碍物检测方法,设计了可探测前方障碍物信息的光学检测系统。结果表明,该方法能够有效检测出未知环境下障碍物的距离、方位角和宽度,并且距离检测误差小于 6 cm。

宋天明等<sup>[36]</sup>设计了流量微调喷洒系统,可以通过速度控制喷洒泵,达到流速微调喷洒,可以有效解决流量喷洒难以控制的问题,更加精细地实施喷洒作业。

范思儀等<sup>[37]</sup>设计了一种适用于农用植保无人直升机的航路规划方案,通过仿真验证了方案的可行性,证明了算法可使无人机在植保环境下应用有较好的效果。

刘小军等<sup>[38]</sup>提出了一种基于 Cortex-M4 内核的六旋翼植保无人机方案,提高了系统动态扰动下的控制能力,保证了系统控制性能和飞行姿态的稳定。

植保无人机智能施药技术可根据作物实际情况调整药液的喷施量,减少药液浪费,实现更精细的施药作业。通过精确定位、避障等技术可有效提高无人机作业的准确性、安全性。

### 3.3 其他技术创新

徐伟诚等<sup>[39]</sup>设计了一款太阳能植保无人机,通过利用太阳能这种绿色的能源为锂电池充电,从而达到增加无人机续航时间的目的。

贾瑞昌等<sup>[40]</sup>将光固化成型技术应用于无人机植保喷头,结果表明,其性能满足喷雾工作要求。将光固化成型技术运用于研发农业机械及其器件,可以减少制造时间和降低制造成本。

董康等<sup>[41]</sup>设计了一种植保无人机离心喷头,优化了喷头的结构参数,设计了一套雾化效果试验装置,获得了最佳工作参数,即电机电压 12 V、喷雾压力 0.08 MPa、喷嘴口径 0.471 mm。

郑启帅等<sup>[42]</sup>研究了航空喷施作业时液滴对叶片的润湿性能及影响因素。试验结果表明,添加助剂和保证液滴与叶片接触速度至少为 1.55 m/s,能有效提高叶面肥对叶片的润湿性。

文晟等<sup>[43]</sup>研究了单旋翼植保无人机翼尖涡流对雾滴飘移的影响。试验结果表明,当无人机飞行速度大于 3 m/s 时,机身后方开始出现螺旋型尾涡,且飞行速度越大、飞行高度越高,尾涡向机身后方的扩散距离越远;当飞行速度为 5 m/s、飞行高度为 3 m 时,38% 的雾滴因螺旋尾涡而造成空中飘移,其中粒径小于 100 μm 的雾滴约占总飘移雾滴数的 80%。

徐志雄<sup>[44]</sup>通过研究发现,无人机植保效果与桨盘载荷具有很大关系。试验证明,变桨距四旋翼对药滴的雾化和扩散效果强于同起飞重量的电动四旋翼。合理的桨盘载荷对作业效果至关重要,变桨距四旋翼构型是达到合适桨盘载荷较可行的发展趋势。

通过对无人机操控系统、组成结构、零件材料等方面的研究,对现有无人机技术进行了改进和创新,有效提高了无人机各方面的工作性能,并对未来无人机作业的发展方向提供了依据。

### 4 无人机在果园中的应用

李莉<sup>[45]</sup>通过研究发现,使用无人机驱避技术可以有效防治鸟害。采用无人机驱避技术防治鸟害,果实受啄率较采用风力驱鸟器降低了 83.08%,较采用超声波驱鸟器降低了 86.42%,较采用生物驱避剂降低了 71.05%,较采用有色防鸟网阻隔技术高 54.5%,说明无人机驱避效果仅次于有色防鸟网阻隔技术。

崔广鑫<sup>[46]</sup>通过试验发现,采用无人机授粉的果实样品较

自然授粉的果实样品平均单果重大,且采用无人机授粉的果实果柄长度更长。对于白粉病的防治,无人机喷药可以使病梢率减少 65%、病叶率减少 50%。通过数据分析发现,无人机在果树行间进行植保作业较在果园上空进行植保作业的效果好。

刘晖等<sup>[47]</sup>研究设计了在无人机上搭载图像与光谱传感器,利用无人机飞行高度的优势,克服普通冠层分析仪只能采集低矮植物冠层图像的限制。

刘德江等<sup>[48]</sup>通过试验发现,相比于单旋翼,多旋翼产生的下行气流场更均匀;但单旋翼产生的下行气流较强,对果树叶片的扰动较大,提高了雾滴在树冠中下部的穿透性。

综上所述,无人机作业在果园防鸟、授粉、施药等多方面工作中均能体现其优势,且适合多种复杂地形作业。

### 5 结语

无人机作业极大地提升了作业效率,解决了劳动力短缺的问题,在果园及大田作业中均能体现出较大优势。但农用无人机在作业过程中仍存在续航时间短、载药量少等问题,需进一步进行研发,解决现存问题;同时,要推进植保无人机智能化,利用无人机结合先进技术,对作物进行智能分析,实现植保无人机高效精准作业。

### 6 参考文献

- [1] 张国鸣,钟雪明,王晔青,等.植保无人机应用于水稻主要病虫害防治之效果评价[J].中国农技推广,2018,34(11):72-74.
- [2] 徐小杰,陈盛德,周志艳,等.植保无人机主要性能指标测评方法的分析与思考[J].农机化研究,2018,40(12):1-10.
- [3] 王穗,彭尔瑞,吴国星,等.农药雾滴在作物上的沉积量及其分布规律的研究概述[J].云南农业大学学报,2010,25(1):113-117.
- [4] 李欣雨,温晓鑫,葛宜元,等.农业植保无人机发展现状及趋势[J].农机使用与维修,2017(8):1-4.
- [5] 阙名锦.农用无人机在水稻病虫害防治中的应用综述[J].广西农学报,2018,33(3):44-47.
- [6] 马一丹.植保无人机外观设计研究[D].北京:华北电力大学,2018.
- [7] 魏小平.小型植保无人机在水稻全程病虫害防治中的应用分析[J].中国农业信息,2016(24):59.
- [8] 赵佩新,宣德华,方永明.浅谈小型无人机在植保中的应用[J].农民致富之友,2018(23):149.
- [9] 兰玉彬,王国宾.中国植保无人机的行业发展概况和发展前景[J].农业工程技术,2018,38(9):17-27.
- [10] 崔永明.农业植保无人机的结构原理和使用方法[J].农机使用与维修,2018(7):29-30.
- [11] 亓文哲,王菲菲,孟臻,等.我国植保无人机应用现状[J].农药,2018,57(4):247-254.
- [12] 刘道奇,余永昌,张开飞,等.多旋翼植保无人机喷雾均匀性试验[J].https://doi.org/10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.027.
- [13] 陶波,孔令伟.无人机喷雾雾滴分布研究[J].东北农业大学学报,2018,49(8):64-72.
- [14] 李继宇,兰玉彬,彭瑾.无人机喷雾粒径对水稻冠层雾滴沉积效果的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2018,44(4):442-446.
- [15] 胡中泽,王安,钱巍,等.植保无人机对小麦主要病害的防治[J].浙江农业科学,2018,59(7):1206-1210.
- [16] 胡红岩,任相亮,马小艳,等.无人机喷施噻苯隆·敌草隆对棉花的脱叶催熟效果[J].中国棉花,2018,45(6):21-23.
- [17] 淦城,肖明徽,梁声荣,等.六旋翼植保无人机防治油菜菌核病效果探析[J].中国植保导刊,2018,38(11):69-71.
- [18] 颜贞龙,张勇,周正春,等.植保无人机施药防治水稻二化螟和纹枯病试验[J].浙江农业科学,2018,59(6):983-984.
- [19] 宁国云,许琴芳,柏超.植保无人机施药防治水稻病虫害试验[J].浙江农业科学,2018,59(5):765-766.
- [20] 张莉,李国清,姜兵,等.极飞 P20 植保无人机防治稻飞虱田间药效

- 试验[J].湖北植保,2018(2):9-10.
- [21] 陈春玲,于丰华,许童羽.四旋翼植保无人机喷雾参数对东北粳稻雾滴沉积的影响[J].农业工程技术,2018,38(9):99-101.
- [22] 蒙艳华,郭永旺,兰玉彬,等.植保无人机低容量高浓度施药药剂在小麦植株上的消解动态研究[J].农业工程技术,2018,38(9):94-98.
- [23] 文纯杰,杨炬仁,韩军,等.植保无人机与机动车喷施棉花脱叶剂效果对比[J].农村科技,2018(3):26-27.
- [24] 苏小记,王雅丽,魏静,等.9种植保机械防治小麦穗蚜的农药沉积率与效果比较[J].西北农业学报,2018,27(1):149-154.
- [25] 赵冰梅,丁丽丽,张强,等.电动多旋翼植保无人机低容量喷雾防治玉米三点斑叶蝉的应用研究[J].植物保护,2018,44(1):186-189.
- [26] 胡红岩,任相亮,姜伟丽,等.植保无人机棉田喷洒农药沉积分布研究[J].华中农业大学学报,2018,37(5):59-64.
- [27] 胡红岩,任相亮,马小艳,等.棉花脱叶剂的植保无人机喷施技术[J].中国棉花,2018,45(11):43-44.
- [28] 朱超,张红欣.高效自适应喷雾植保无人机设计与研究[J].农机化研究,2019,41(9):88-93.
- [29] 王金星,王震,张茵,等.低量低空小型植保无人机变量喷药参数优化试验[J].江苏农业科学,2018,46(17):215-219.
- [30] 白明亮,范冲,何明宏.基于WEB的无人机三维仿地飞行规划在农业植保中的应用[J].中国农业信息,2018,30(4):117-123.
- [31] 明宇.一种基于视觉的植保无人机避障[J].电子世界,2018(22):141-142.
- [32] 王军,邹学庆,卢蓓蓓,等.基于nRF24L01植保无人机无线数据传输系统设计[J].中国农机化学报,2018,39(6):52-55.
- [33] 吴冬.基于GPS和GPRS的混合农业植保无人机高精度定位系统设计与应用[J].农业工程,2018,8(5):37-40.
- [34] 韩宾,吴开华,王文杰.全自动植保无人机弯道姿态控制算法[J].传感器与微系统,2018,37(4):142-144.
- [35] 吴开华,王文杰.植保无人机结构光视觉的障碍物检测方法[J].光电工程,2018,45(4):32-40.
- [36] 宋天明,任喆,刘国崇.植保无人机喷洒系统的设计[J].农机使用与维修,2018(4):12.
- [37] 范思儀,陈铭,丁念.基于流体扰动算法的农用植保无人机避障航路规划与仿真[J].农业工程技术,2018,38(9):51-54.
- [38] 刘小军,牛绿原,刘增元,等.基于Cortex-M4六旋翼植保无人机的研究与开发[J].电工技术,2018(6):18-20.
- [39] 徐伟诚,陈凯,张铭,等.基于太阳能的植保无人机续航提升方案[J].中国农业科技导报,2018,20(11):62-68.
- [40] 贾瑞昌,唐楚鹏,王志敏,等.光固化成型技术在无人机植保喷头研发中的应用[J].农业工程,2018,8(9):1-5.
- [41] 董康,陈华才,郑永明,等.植保无人机离心喷头的设计与试验[J].中国计量大学学报,2018,29(3):265-268.
- [42] 郑自帅,岑海燕,方慧,等.植保无人机喷施液滴润湿性探究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2018,44(4):407-413.
- [43] 文晨,韩杰,兰玉彬,等.单旋翼植保无人机翼尖涡流对雾滴飘移的影响[J].农业机械学报,2018,49(8):127-137.
- [44] 徐志雄.桨盘载荷对植保无人机构型的影响[J].农业与技术,2018,38(6):83.
- [45] 李莉.果园几种鸟雀驱避技术效果研究[D].银川:宁夏大学,2016.
- [46] 崔广鑫.洛川县苹果园实施无人机喷药的试验[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [47] 刘晖,李兆雄,詹杰,等.基于无人机的果园冠层图像采集装置设计[J].农业技术与装备,2018(10):76-77.
- [48] 刘德江,龚艳,王果,等.果园航空喷雾的农药沉积分布比较[J].江苏农业科学,2018,46(6):207-211.

(上接第120页)

在清晨、傍晚,趋光性较强。一般在密度过大林、阴坡、山洼等处发生程度重。

## 4.2 防治技术

可结合实际适当伐林,加强施肥管理,提高毛竹林内的通风透光性,为毛竹生长提供有利条件。刚竹毒蛾的老熟幼虫常集中结茧,主要分布在毛竹林下的杂灌木或者竹笋上,可以人工将虫茧摘除,集中销毁。由于刚竹毒蛾具有较强的趋光性,因而可在盛发时于毛竹林内悬挂杀虫灯。4—5月在毛竹林内喷洒白僵菌粉,一般防效可超过70%,且效果可持续数年甚至更长。

## 5 黄脊竹蝗

### 5.1 发生特点

黄脊竹蝗是毛竹上主要的食叶害虫,1年发生1代,虫卵的越冬场所为土壤,一般孵化时间开始于翌年4月底,5月中旬至6月初为卵孵化的高峰期,50d左右即可全部孵化完毕。成虫羽化、产卵的高峰期分别在7月下旬、8月中旬,产卵多选择在土质疏松、杂灌少的朝南山坡上。成虫(具迁飞性)、跳蝻(具迁移、群聚性)表现出趋人尿、趋咸等特点,跳蝻上竹的时间多数在1龄末至2龄初。

### 5.2 防治技术

毛竹上发生黄脊竹蝗时要尽早防治,一般在发病叶片达到10%左右时进行防治,防治的关键时期是跳蝻孵化高峰期10d以后,此时跳蝻聚集于杂灌木上采食,防治效果最佳,待其上竹分散开后防治效果不佳。春季和冬季将毛竹林间的草全部铲净,避免黄脊竹蝗产卵越冬,也可以在林间堆沤肥料以杀灭虫卵;毛竹林附近的荒地都要开垦,以免其在土壤中产卵。将新鲜的人尿、敌百虫等按照一定的比例混合,均匀地放置在毛竹林间,以诱杀成虫、跳蝻<sup>[9]</sup>。

## 6 竹笋叶蛾

### 6.1 发生特点

竹笋叶蛾1年发生1代,主要以卵的形式存在于禾本科杂草枯叶卷皱的边缘处越冬,翌年2月下旬逐渐孵化,进入到禾本科等杂草的心叶中产生危害,最后表现出枯心、白穗等病症。幼虫在杂草心叶中为害时可蜕皮2~3次,进入4月后,毛竹笋开始出土,杂草心叶中的幼虫即可转入竹笋中,一般首先为害笋尖的小叶,在其中取食并蜕皮1次,之后从小叶中爬出转入笋中为害竹笋。5月上中旬老熟幼虫从笋中爬出进入土壤中结茧化蛹<sup>[6]</sup>。成虫活动时间多在夜间,对光照有趋向性,羽化时间在6月上中旬。雌成虫每次产卵数量在280粒以上。

### 6.2 防治技术

毛竹笋发生竹笋叶蛾后,最明显的表现为清晨竹笋顶部没有露珠、色泽暗淡无光泽,一经发现应尽快挖除,并对竹笋穴以及周围的土壤进行消毒。竹笋叶蛾以卵存在于禾本科枯草中越冬,因而要及时整地除草,降低枯草上越冬虫卵基数。3月中下旬出笋之前,对准毛竹林内下方以及周边杂草喷施杀虫药剂,如菊酯类,每隔7d左右喷1次,连喷2~3次。

## 7 参考文献

- [1] 林进国.福建省毛竹常见病虫害与防治措施[J].江西农业,2017(6):20.
- [2] 高丽红.论毛竹存在的主要病虫害及防治技术[J].中国科技财富,2011(3):193.
- [3] 范秀琼.毛竹主要病虫害的发生与综合防治技术[J].农技服务,2012,29(12):1304-1305.
- [4] 史红正.毛竹存在的主要病虫害及防治技术[J].北京农业,2015(6):125.
- [5] 梁道忠.毛竹病虫害发生特点与防控对策[J].种子科技,2016,34(7):95-96.
- [6] 杨海红.毛竹病虫害发生特点、成因及防治对策[J].吉林农业,2014(1):84-85.