

外来入侵杂草黄顶菊的发生特性与综合控制技术

唐秀丽¹, 谭万忠^{1*}, 付卫东², 张国良², 陈艳¹

(1.西南大学 植物保护学院 外来入侵生物研究中心, 重庆 411716; 2.中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所, 北京 100082)

摘要: 黄顶菊是中国近年来新记录的一种外来入侵恶性杂草, 入侵后迅速蔓延并造成大面积危害。综述近年来对黄顶菊的分类学地位、生长、光合及遗传特性、防控措施及其分布等方面的研究成果。黄顶菊具有喜光喜湿、耐盐碱贫瘠、生长繁殖迅速、结实量大等特点, 环境适应性极强, 其种子易于随气流传播和混在农产品中人为传播扩散。预期黄顶菊在未来 10~20 年内将可能扩散到更大范围危害, 对该杂草应加强研究, 创制出经济安全而有效的持续控制技术措施。

关键词: 黄顶菊; 生物学和生态学特性; 化感效应; 生物入侵; 综合控制技术

中图分类号: S451 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2010)06-0694-06

Biological characters and integrated control of the alien invasive weed *Flaveria bidentis*

TANG Xiu-li¹, TAN Wan-zhong^{1*}, FU Wei-dong², ZHANG Guo-liang², CHEN Yan¹

(1.Alien Invasive Species Research Institute, College of Plant Protwction, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2.Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100082, China)

Abstract: Yellow-top weed, *Flaveria bidentis*, is an important alien invasive plant recorded in 2001 in China and has been spreading rapidly since then. It is now widely distributed in Tianjin city and Henan province. The present paper reviews the achievements of studies in biology and ecology of yellow-top weed, including its classification, morphology, growth and reproduction, photosynthesis, genetics, allelopathic effects and integrated control. The weed can grow under relatively high temperature, light and humidity conditions and soil barrenness. The seeds of the weed are easily transmitted by wind, animals(insects etc.) and by long distance transportation or exchange of crop products infested with the weed seeds. It is expected that the distribution of yellow-top weed will be expanded to greater area (Beijing, Henan and Shandong province) in the next one or two decades in China. Greater attention will be paid to yellow-top weed studies by weed scientists and more effective and economical strategies will be available for uses in yellow-top weed control.

Key words: yellow-top weed (*Flaveria bidentis*); biological and ecological characters; allelopathy; biological invasion; integrated management

黄顶菊(*Flaveria bidentis*)属菊科(Asteraceae)黄菊属(*Flaveria*)植物^[1],原产于南美洲热带雨林地区, 主要分布于美洲中部、北美洲南部及西印度群岛,以后由于引种等原因而传播到埃及、南非、英国、

收稿日期: 2010-01-15

基金项目: 国家公益性行业(农业)专项(200803022)

作者简介: 唐秀丽(1984—),女,山西平遥人,硕士研究生;*通讯作者, drwztan@126.com

法国、澳大利亚及日本等多个国家, 是许多国家的重要外来入侵植物和恶性杂草之一^[2]。

黄顶菊大约于20世纪90年代传入中国, 2001年以后, 在河北省和天津市大面积发生和为害^[3]。黄顶菊多见于疏林、住宅四周、路边、田埂、沟渠旁、闲置地和垃圾场等生境, 有很强的争夺水肥和空间的能力, 且抗逆性很强, 对粮食生产和生态安全构成了严重威胁^[3-4]。2006年, 河北省通过普查发现, 黄顶菊分布面积达20 000 hm²以上, 目前已经在河北省的56个县、市及天津市郊区发生、分布。根据黄顶菊原产地及其传播入侵区域的生态环境条件分析, 预计除华北地区外, 华中、华东、华南及沿海地区都可能成为黄顶菊入侵的区域^[4-5]。黄顶菊具有很强的抗逆性和结实量大的繁殖优势, 近年来的发生分布范围不断扩散蔓延, 给作物生产造成了重大的经济损失, 对当地生态环境中其他植物群落的生存构成了严重威胁^[6]。

黄顶菊入侵中国的时间并不长, 对黄顶菊的研究已经比较广泛、深入。对该杂草的发生、分布和为害进行的调查, 已明确其主要分布于河北省和天津市^[7]; 通过对黄顶菊的生物学和生态学特性研究, 初步弄清了其入侵主要机理^[2,8]; 对黄顶菊进一步蔓延至中国其他地区的可能性进行的风险分析认为, 与河北省相邻的北京市、河南省和山东省是其扩散的高风险地区^[9]; 黄顶菊的综合防控技术研究^[10-11]已经取得了重要成果。

1 黄顶菊的主要生物学特性

1.1 黄顶菊的形态识别特征

黄顶菊为1年生草本植物, 株高25~200 cm, 茎直立, 紫色, 被微绒毛; 茎叶多汁而近肉质; 叶交互对生, 叶长椭圆形至披针状椭圆形, 亮绿色, 基生三出脉呈黄白色, 侧脉在叶下面明显边缘基部以上, 具稀疏而整齐锯齿, 多数叶具0.3~1.5 cm长的叶柄, 叶柄基部近于合生, 茎上部叶片无柄或近无柄; 头状花序, 多数于主枝及分枝顶端密集成蝎尾状聚伞花序, 花冠鲜黄色, 非常醒目; 瘦果黑色, 稍扁, 倒披针形或近棒状, 无冠毛, 具10条纵肋, 千粒重为 $(0.204 \pm 0.005) \text{ g}$ ^[12]。这些形态特征是野外识别黄顶菊的重要依据。

1.2 黄顶菊的生长特性

黄顶菊的生境范围非常广, 在河溪旁的水湿处、峡谷、悬崖、峭壁、原野、牧场、弃耕地、街道附近、道路两旁及含砾岩或沙的黏土都能生长, 喜生于荒地、厂矿迹地、建筑工地和滨海等富含矿物质及盐分的生境。黄顶菊喜光、喜湿、嗜盐、生长迅速、结实量极大, 尤其偏爱受到干扰后的生境。对天津地区黄顶菊的野外调查发现, 黄顶菊在贫瘠的建筑垃圾或砖石瓦块横生的荒郊生长良好, 其伴生种多为一些藜科植物和禾本科杂草, 如地肤、灰绿藜、狗尾草和虎尾草等, 另外还常见碱蓬和柽柳等耐盐碱、耐干旱植物。现发现黄顶菊已逐渐向农家庭院、树林等地侵入。黄顶菊在河北省中南部从4月下旬至9月下旬均可以出苗, 出苗早的植株7月下旬开始出现花序, 8月底至11月上旬为种子成熟期, 11月初最低温度降至10℃以下时, 大部分黄顶菊干枯。夏季至秋季或全年均为花果期, 生长茂盛, 结实量多, 每株黄顶菊平均开花1 200多朵, 单株产10多万粒种子, 田间可见黄顶菊的世代重叠现象^[2,7]。

1.3 黄顶菊的光反应特性

光照可以促进黄顶菊种子萌发, 在12 h光照条件下, 种子第1天的发芽率就超过50% (53.15%), 第3天的发芽率达96.15%, 以后发芽率不再有明显变化; 而无光照处理时, 第10天的发芽率仅为26.15%; 24 h光照处理第10天的发芽率为54.15%^[13]。王贵启等^[14]分别在6~16 h光照处理后测定黄顶菊种子的活性, 发现黄顶菊最早开花是经过7 h处理的种子, 其时距播种至开花的时间仅为43 d, 而对照(无光照)种子的开花时间距播种时间达75 d, 最晚开花的为16 h光照处理, 距播种时间为85 d。同时, 黄顶菊的种子没有休眠特性, 只要光照等基本条件具备就可随时萌发生长。

黄顶菊为典型的C₄植物^[15], Dwyer等^[16]研究了黄顶菊和另外2种C₄植物对高温的光合响应, 相对于适温条件, 高温下生长的植物CO₂同化速率的最适温度升高, 叶片含氮量及单位面积的叶重减少, 同时Rubisco、细胞色素f和碳酸酐酶(CA)活性下降。已有大量关于黄顶菊体内C₄光合酶的研究, 如

黄顶菊体内碳酸酐酶、NADP₂苹果酸酶、苹果酸脱氢酶、Rubisco及其活化酶等的研究都已受到关注^[13]。

1.4 黄顶菊的遗传特性

国内研究结果表明,黄顶菊的体细胞染色体数目为 $2n=36$,核型公式 $K(2n)=2x=36=24m+8sm+4st$,与国外有关黄顶菊属植物染色体基数($n=18$)^[17]一致,表明入侵中国后的黄顶菊染色体数目并没有发生变异,没有与本土植物发生杂交;黄顶菊在进化程度上属较进化类型。

1.5 黄顶菊的化感效应

现已发现在全球范围内分布较广的外来入侵植物几乎都具有化感效应^[18-21]。近年来很多的研究表明,黄顶菊具有化感作用,这种化感作用表现为对白菜、水稻、绿豆等^[22-23]种子的萌发和幼芽伸长具有抑制作用。笔者所在课题组测定了黄顶菊植株浸出液及其根围土壤对玉米、小麦、油菜和大豆等4种作物种子发芽及幼苗生长的作用,试验用黄顶菊植株根、茎、叶片及根围土壤提取水浸液分别处理玉米、小麦、大豆及油菜的种子和幼苗后,测量、观察了种子萌发及幼苗生长情况^[24-25],结果表明,黄顶菊植株不同部位及根围土壤提取液都能显著抑制4种作物种子的萌发和幼苗生长($P<0.05$),但根围土壤提取液的抑制作用明显高于植株组织提取液。将作物种子直接播种于黄顶菊根围土壤中3~14 d后,只有玉米种子的萌发出苗率较高,但出苗时间较正常土壤处理延迟1~2 d,长出的幼苗叶色退绿明显,生长非常缓慢;其他3种作物种子出苗和幼苗生长受到严重抑制,只有少量种子能萌发出苗,出苗时间较常规土壤中晚5 d以上,出土幼苗极度矮化,苗色发黄,生长极度异常或完全停止,说明黄顶菊对这4种供试作物的生长有显著的化感抑制作用,而且其化感物质可以在土壤中累积增多。由此推断,化感作用可能是黄顶菊入侵和为害作物的重要机理之一。

2 黄顶菊的持续防控技术

在黄顶菊持续防控技术方面取得了可供应用

的成果。目前提出的防控技术主要包括植物检疫、人工除草、植物替代、生物控制和化学除草等。

2.1 植物检疫

利用植物检疫程序是预防黄顶菊扩散蔓延的最重要措施。实施对黄顶菊的检疫需要开展以下工作:1) 加强宣传,群防群治。黄顶菊快速蔓延的势头之所以没有得到有效遏制,最根本的原因之一就是人们的防控认识不到位,对黄顶菊的危害没有足够重视,因此,各级农业部门要及时在发生严重地区召开现场会,进行黄顶菊的防治技术培训,增强广大干部和农民群众的防控意识。同时广泛通过电视台、报纸、农村广播、宣传册、张贴标语等多种形式,详细地介绍黄顶菊的特征特性,广泛宣传黄顶菊的严重危害性和防治工作的重要意义,发动全社会的力量对黄顶菊进行群防群治^[26]。2) 全面普查,加强监测。各地农业部门应对黄顶菊可能发生的重点区域,如废弃的厂矿、工地和滨海、河边、沟渠边、道路两旁等进行细致调查,并在黄顶菊发生地建立观察点,加强监测,全面摸清黄顶菊的发生和分布情况,有的放矢地开展扑灭活动。要及时掌握黄顶菊发生动态,对已采取扑灭措施的重点发生区域更要进行密切关注,随时掌握扑灭后的生长动态,以进一步采取措施,彻底杜绝其扩散蔓延^[12]。3) 及时发现,及时铲除。根治黄顶菊,人工拔除是非常有效的防治方法。4—8月是黄顶菊营养生长期,也是铲除黄顶菊的最佳时期,因此,必须争取在黄顶菊还未结籽之前,对零星发生、低密度、高大植株地块,将植株连根拔除,带出田外集中焚烧销毁,做到斩草除根。对成片发生地区,可先割除植株,再耕翻晒根,拾尽根茬,并将拔除的植株集中焚烧或用粉碎机进行粉碎。对未及时铲除的已经成熟的黄顶菊,要利用11月到翌年4月进行铲除和烧毁干枯黄顶菊^[14]。4) 严格控制人为传播。由于黄顶菊繁殖能力极强,凡是接触过黄顶菊的人,都要严格检查自身是否带有黄顶菊种子以及严格控制带有该杂草种子的繁殖材料及带有残根残茎的土壤异地人为传播,以减轻黄顶菊扩展蔓延^[14]。

2.2 人工铲除技术

研究数据表明,黄顶菊瘦果极小,萌发时子叶出土,如果将其深埋,则可以防止大量出苗。在早春土壤解冻后进行土壤深翻,将黄顶菊种子深埋入土,翻耕深度为5 cm以上,可以明显抑制黄顶菊种子的萌发,对防除杂草危害有显著效果。黄顶菊苗期喜欢温暖湿润的环境,最先萌发的往往是湿润田边或沟坡下部的黄顶菊种子。如果在干旱路边或弃荒地,往往于雨后萌发,如遇干旱幼苗会大量死亡,因此,苗期防除是最佳时期,此时进行人工锄草效果很好。秋季是黄顶菊植株枯萎的季节,也是黄顶菊瘦果成熟的季节,可以在较干旱的天气集中其植物体进行焚烧。

2.3 植物替代防除技术

据李克非^[11]报道,张国良等根据黄顶菊生长的不同生境与不同植物的生物学特性差异,进行合理组合,并设置不同的替代植物密度梯度及不同施肥处理,设置试验区,定期测量黄顶菊与替代植物的各项生理与生态指标,从中筛选出了向日葵和苜蓿、向日葵和高羊茅、向日葵和黑麦草以及紫穗槐、一年生黑麦草和苜蓿等几种具有良好生态控制效果的植物及植物组合,控制黄顶菊蔓延危害,取得了理想的效果。

2.4 化学防治技术

虽然化学防治不能根除黄顶菊,而且污染环境,但对危害严重、面积大、人工清除有困难的地方采用化学药剂进行防治,成本低、省时、省力,效果明显。

王秋霞等^[10]对防治黄顶菊高效、低毒、环境友好的除草剂进行了筛选,在保证防效的同时,为了尽可能减少向环境中投放农药,考察了4种助剂(机油乳油、甲酯化大豆油、有机硅表面活性剂、Quad7)对所筛选除草剂的增效作用。对供试的11种除草剂的田间药效试验结果表明:毒莠定、三氯吡氧乙酸、二甲四氯钠盐对防治黄顶菊有特效,对非靶标植物影响小。4种助剂分别与毒莠定混用,机油乳油、甲酯化大豆油、有机硅表面活性剂分别与三氯吡氧乙酸混用,甲酯化大豆油、Quad7分别与二甲四氯钠盐混用,均可提高防效,而且降低除草剂正

常用量的50%,所以,灭生性除草剂草甘膦、百草枯对防治黄顶菊有较好的效果,而激素类除草剂对防治黄顶菊则有特效。在此研究的基础上,2009年在河北省沧州市建立耕地和非耕地试验区,筛选出了烟嘧磺隆、硝草酮、乙羧氟草醚、乳氟禾草灵、乙草胺、异丙甲草胺、嘧草硫醚等适合耕地的除草剂,以及氨氟吡啶酸、定草酯、氟草烟、草甘膦等适合非耕地的除草剂,并初步构建了高效、低毒、低残留、保护植物多样性的黄顶菊应急化学控制体系。

2.5 生物防治技术

由于生物除草剂具有对目标杂草以外的植物影响小、环境负效应小、安全性高等特点,近年来国内外许多研究者将研究重点向生物除草剂,尤其是微生物除草剂的研制方面转移^[27],但迄今为止,国内外对黄顶菊的生物防治研究报道还非常少。笔者近年来在河北和天津的黄顶菊分布区开展了生防因子的调查,记载了夜蛾、螟蛾、叶甲、叶蝉、飞虱、蜡类和蚜虫等10种食草昆虫及猝倒病(*Pythium* sp.)、白粉病(*Sphaerotheca* sp.)、枯斑病、黑斑病(*Alternaria* sp.)和花叶病毒病等6种植物病害。在自然条件下,这些昆虫和病害对黄顶菊具有不同程度的抑制作用。张剑等^[28]从湖南张家界的毛竹(*Phyllostachys pubescens*)上分离获得1株拟盘多毛孢(*Pestalotiopsis microspora*),其菌体及代谢产物对黄顶菊的种子萌发和幼苗生长有强烈的抑制作用。

3 黄顶菊的发生动态与防控技术研究展望

现有研究已经表明,黄顶菊对多种农作物和其他植物均有较强的化感抑制效应,但目前对形成这种效应的规律和生物化学实质尚不清楚,亟待进行研究,需要探讨其化感效应的形成动态规律、影响因素,分离和纯化目标化感物质,纯化目标化合物,使用核磁共振、红外测定熔点、红外光谱、紫外光谱、质谱和核磁共振谱(¹H-NMR和¹³C-NMR)等技术来确定化感物质的分子结构,并分析其功能。

对于替代植物控制黄顶菊的技术,张国良等通过室内试验与试验田相结合的方法,筛选出对黄顶

菊具有良好生态效果的植物及植物组合,对黄顶菊的发生和危害具有较好的控制效果.但这只是初步的研究结果,对于其控制效果的持续性、作用机理及适用范围等都还需要进行研究,同时还需要测试和筛选更多、更有效的替代植物,以研制出更简便易行的替代控制技术.

黄顶菊被认为是一种非常抗病虫的植物,但几乎还没有开展其生物防治方面的研究.近年来笔者在河南和天津开展了调查和标本采集,记录了多种食草昆虫和草生病原物,并观察到这些昆虫和病原物在野外对黄顶菊植株具有一定程度的控制作用.但是,对这些昆虫和病原物的研究还很不深入,还需要在更大范围内甚至到黄顶菊原产地国家开展调查和采集病、虫标本,以获得具有生防应用潜力的病原菌或食草昆虫.

关于黄顶菊的检测鉴定技术,田间识别植株是比较直接和容易的,但是要准确地鉴定田间土壤中遗留或作物产品中携带的种子则相对较困难,因此,需要研制基于黄顶菊某基因或DNA(RNA)片段序列的分子诊断技术,并结合形态学特征来鉴定黄顶菊种子.这种常规形态学鉴定和分子快速鉴定相结合的技术不仅可应用于监测、鉴定土壤携带种子的田间诊断中,在植物检疫中快速准确地检验作物产品中携带的黄顶菊种子也具有重要的应用价值.

黄顶菊是一种新入侵中国的外来恶性杂草,其生长繁殖迅速,种子可以随土壤、水流和气流等传播,也可以混杂于种子、苗木中人为地远程传播,而且具有相当强的抗病虫和抗不良环境条件等生态环境适应性,所以很容易扩散蔓延.中国大部分省区都非常适合黄顶菊的生长繁殖,是其入侵和发生的高风险区,可以预见,黄顶菊的扩散蔓延不可避免,未来10年至20年内,黄顶菊在中国的发生分布范围将进一步扩大,位于河北省周边及近邻的北京市、河南省和山东省等是其入侵的最危险区域,应引起高度重视.

对黄顶菊的防控虽然已经提出了一些技术措施,但是对其中部分技术目前研究还不够深入,还不能应用于生产实践.笔者认为,在目前的情况下,一方面可以参照现有的一些检疫性杂草防除和综合控制技

术来对黄顶菊进行应急防控;另一方面需要加大对黄顶菊各方面研究的力度,由此集成一套完整的预防与预警、检疫与检测、根除与控制、利用与修复相协调的防控技术体系,以有效地遏制黄顶菊扩散蔓延至非疫区和减轻疫区黄顶菊的危害损失.

参考文献:

- [1] 乔建国,张玉蕊,康利芬.黄顶菊物候和种子发芽特征研究[J].现代园林,2007(12):84-86.
- [2] 任艳萍,江莎,古松,等.外来入侵植物黄顶菊研究进展[J].热带亚热带植物学报,2008,16(4):390-396.
- [3] 张国良.生物也疯狂——外来物种入侵的危害[J].科学中国人,2002(10):52-53.
- [4] 芦站根,周文杰.温度、土壤水分和NaCl对黄顶菊种子萌发的影响[J].植物生理学通讯,2008,44(5):939-942.
- [5] 乔建国,张英丽,常雁起,等.土壤、水分和光照对黄顶菊生长的影响[J].现代园林,2008(6):87-89.
- [6] 芦站根,周文杰.外来植物黄顶菊的潜在危险评估与控制对策[J].杂草科学,2006(4):4-5,53.
- [7] 李香菊,王贵启,张朝贤,等.外来植物黄顶菊的分布、特征特性与化学防除[J].杂草科学,2006(4):58-61.
- [8] 皇甫超河,王志勇,杨殿林.外来入侵种黄顶菊及其伴生植物的光合特性初步研究[J].西北植物学报,2009,29(4):781-778.
- [9] 芦站根,周文杰,时丽冉,等.3种外来植物入侵的风险评估及防治对策[J].安徽农业科学,2007,35(12):3587-3611.
- [10] 王秋霞,张宏军,郭美霞,等.外来入侵杂草黄顶菊的化学防除[J].生态环境,2008,17(3):1184-1189.
- [11] 李克非.我国黄顶菊持续控制研究取得重要进展[EB/OL].(2009-08-16)[2009-11-20]http://hb.cctv.com/20090814/108557.shtml.
- [12] 张秀红,李跃,韩会智,等.黄顶菊生物学特性及防治对策[J].河北林业科技,2006(1):48-49.
- [13] 任艳萍,古松,江莎,等.温度、光照和盐分对外来植物黄顶菊种子萌发的影响[J].云南植物研究,2008,30(4):477-484.
- [14] 王贵启,苏立军,王建平.黄顶菊种子萌发特性研究[J].河北农业科学,2008,12(4):39-40.
- [15] Bauwe H. Photosynthetic enzyme activities and immunofluorescence studies on the localization of ribulose-1,5-bisphosphocarboxylase/oxygenase in leaves of C₃, C₄, and C₃-C₄ intermediate species of *Flaveria* (Asteraceae)

- [J]. *Biochemistry and Physiology Pflanzen*, 1984, 179: 253-268.
- [16] Dwyer S A, Ghannoum O, Nicotra A, et al. High temperature acclimation of C_4 photosynthesis is linked to changes in photosynthetic biochemistry[J]. *Plant Cell and Environment*, 2007, 30: 53-66.
- [17] Powell A M. Systematics of *Flaveria*[J]. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1978, 65(2): 590-636.
- [18] 吴锦容, 彭少麟. 化感——外来入侵植物的“Novel Weapons”[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 3093-3097.
- [19] 倪广艳, 彭少麟. 外来入侵植物化感作用与土壤相互关系研究进展[J]. *生态环境*, 2007, 16(2): 644-648.
- [20] Hierro J L, Callaway R M. Allelopathy and exotic plant invasion[J]. *Plant and Soil*, 2003, 256: 29-39.
- [21] Yu X J, Yu D, Lu Z J. A new mechanism of invader success: Exotic plant inhibits natural vegetation restoration by changing soil microbe community[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(11): 1105-1112.
- [22] 张风娟, 徐兴友, 陈凤敏, 等. 黄顶菊茎叶浸提液对白菜和水稻幼苗化感作用的初步研究[J]. *西北植物学报*, 2008, 28(8): 1669-1674.
- [23] 周文杰, 李建明, 芦站根. 外来植物黄顶菊水浸提液对绿豆种子萌发及生长的影响[J]. *江苏农业科学*, 2007(4): 72-74.
- [24] 陈艳. 外来入侵植物黄顶菊对4种重要作物的化感作用研究[D]. 重庆: 西南大学植物保护学院, 2008.
- [25] Chen Y, Zhang G L, Tan W Z, et al. Analysis of the allelopathic effect of yellow-top weed (*Flaveria bidentis*) on germination and growth of wheat [C]//Wu Y, Wang X Y. *International Workshop on Biological Control of Invasive Species of Forests*. Texas; USDA & Forest Service Publications, 2009: 92-95.
- [26] 吴鸿斌. 外来入侵生物黄顶菊的防控技术对策[J]. *河北农业*, 2006(11): 23.
- [27] 马娟, 董金皋. 微生物除草剂与生物安全[J]. *植物保护*, 2006, 32(1): 9-12.
- [28] 张剑, 董晔欣, 张金林, 等. 一株具有高除草活性的真菌菌株[J]. *菌物学报*, 2008, 27(5): 645-651.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 胡东平

(上接第689页)

的 *hr2* 基本结构高度相似, 同源性达 98%, 且均规律性地重复出现回文结构和非完全对称性的回文结构, 但回文结构及非完全对称回文结构, 在 EcobNPV-HB 的 *hr2* 中重复出现次数多于 EcobNPV-AH, 二者间回文结构数量差异对其生物学的影响尚待探讨。

茶尺蠖学名承中国科学院动物研究所薛大勇研究员鉴定, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 陈华才, 王志岚, 殷昆山. 茶尺蠖核型多角体病毒制剂的研制[J]. *浙江农业学报*, 2006, 18(5): 313-316.
- [2] 叶恭银, 朱俊庆. 茶尺蠖核型多角体病毒对宿主种群的控制作用[J]. *植物保护学报*, 1994, 21(3): 231-237.
- [3] 龚自明, 刘明炎, 谭荣荣, 等. 灰茶尺蠖核型多角体病毒 (EgNPV) 安全性试验[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(1): 13-18.
- [4] 毛迎新, 刘明炎, 谭荣荣, 等. 灰茶尺蠖核型多角体病毒对灰茶尺蠖的致病性研究[J]. *华东昆虫学报*, 2007, 16(3): 216-219.
- [5] Van Oers M M, Abma-Henkens M H, Herniou E A, et al. Genome sequence of *Chrysodeixis chalcites* nucleopolyhedrovirus, a baculovirus with two DNA photolyase genes[J]. *J Gen Virol*, 2005, 86: 2069-2080.
- [6] Willis L G, Seipp R, Stewart T M, et al. Sequence analysis of the complete of *Trichoplusia ni* single nucleopolyhedrovirus and the identification of a baculoviral photolyase gene[J]. *Virology*, 2005, 338: 209-226.
- [7] Murillo R, Muñoz D, Lipa J J, et al. Biochemical characterization of three nucleopolyhedrovirus isolates of *Spodoptera exigua* and *Mamestra brassicae*[J]. *Journal of Applied Entomology*, 2001, 125: 267-270.
- [8] Ma Xiu-Cui, Shang Jin-Yan, Yang Zhang-Nv, et al. Genome sequence and organization of a nucleopolyhedrovirus that infects the tea looper caterpillar, *Ectropis obliqua* [J]. *Virology*, 2007, 360: 235-246.
- [9] Leisy D J, Rohrmann G F. Characterization of the replication of plasmids containing *hr* sequence in baculovirus-infected *Spodoptera frugiperda* cells[J]. *Virology*, 1993, 196: 722-730.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 胡东平