

评述与展望

Reviews and Progress

三种玉米根虫的生物学特性及防治进展

赵从^{1,2}, 朱锦天^{1,2}

1. 海南省热带农业资源开发利用研究所(HITAR), 三亚, 572025
2. 暨阳国际先进技术研究中心(JICAT), 浙江农林大学暨阳学院, 诸暨, 311800

✉ 通讯作者: zhacong@hitar.org; ✉ 作者

昆虫分子生物学研究, 2015 年, 第 4 卷, 第 1 篇 doi: 10.5376/imbr.cn.2015.04.0001

这是一篇采用 Creative Commons Attribution License 进行授权的开放获取论文。只要对本原作有恰当的引用, 版权所有人允许并同意第三方无条件的使用与传播。

引用格式(中文):

赵从和朱锦天, 2015, 三种玉米根虫的生物学特性及防治进展, 昆虫分子生物学研究(online), 4(1): 1-5 (doi: 10.5376/imbr.cn.2015.04.0001)

引用格式(英文):

Zhao C. and Zhu J.T., 2015, Biological Characteristics and Integrate Pest Management of Three Corn Rootworms, Kunchong Fenzi Shengwuxue Yanjiu (online), 4(1): 1-5 (doi: 10.5376/imbr.cn.2015.04.0001)

摘要 玉米根虫(corn rootworm, CRW)是美洲, 欧洲等地区玉米作物的主要害虫, 近年来也蔓延到了中国境内。由于该害虫对玉米和其他作物的危害越来越大且传播速度快, 近年来引起了人们越来越多的重视。本文对造成农作物伤害的三种主要玉米根虫的形态、生物特性以及最新的防治措施进行综述, 为下一步研究玉米根虫的综合治理奠定基础。

关键词 玉米根虫; 形态; 生物特性; 防治

Biological Characteristics and Integrate Pest Management of Three Corn Rootworms

Zhao Cong^{1,2}, Zhu Jintian^{1,2}

1. Hainan Institute of Tropical Agricultural Resources (HITAR), Sanya, 572025, P.R. China
2. Jiyang International Center for Advanced Technology (JICAT), Jiyang College of Zhejiang A&F University, Zhuji, 311800, P.R. China

Abstract Corn rootworms are the major pest of corn in America, Europe and other regions. In recent years, the corn rootworms also spread to China and other Asian countries. Since corn rootworms damaged corn and other crops seriously and spread fast, the management of corn rootworm has attracted more and more attention. In this paper, the morphology, biological characteristics and control measures of three corn rootworms are summarized to lay the foundation for further study of the biological control of corn rootworms.

Keywords Corn rootworm; Morphology; Biological characteristics; Integrate pest management

✉ Corresponding author, zhacong@hitar.org; ✉ Authors

研究背景

玉米根虫(corn rootworm, CRW), 鞘翅目, 根萤叶甲属(*Diabrotia* sp.), 是美洲, 欧洲等地区玉米作物的一种主要害虫。幼虫以玉米根作为主要食物来源, 对初生根, 根毛甚至是支柱根(暴露的支撑根)产生严重破坏, 同时造成植物根腐烂, 导致植株易倒伏, 作物产量下降甚至死亡; 成虫主要以玉米叶, 花, 花粉, 穗丝及玉米果实为食, 对玉米植株及果

实造成严重破坏。据统计, 美国有五千万英亩的玉米正遭受着玉米根虫的破坏, 每年用于防治玉米根虫所使用的农药及该害虫导致的作物减产的直接经济损失累计达 10 亿美元, 因此玉米根虫还被称为“Billion-dollar bug”(Monsanto Company, 2013)。

对农作物造成伤害的玉米根虫主要有三种, 分别是西方玉米根虫(western corn rootworm, WCR, *Diabrotia virgifera virgifera* Leconte), 中文名玉米根萤叶甲, 是目前认为对玉米危害最大的一种根虫; 北方玉米根虫(Northern corn rootworm, NCR, *Diabrotia barberi* Smith&Lawrence), 中文名巴氏根萤叶甲; 南方玉米根虫(Southern corn rootworm, SCR, *Diabrotia undecimpunctata howardi* Barker), 又

收稿日期: 2015 年 02 月 11 日

接受日期: 2015 年 02 月 12 日

发表日期: 2015 年 02 月 26 日

叫十一星根萤叶甲，原名黄瓜十一星叶甲食根亚种。因这几种玉米根虫的危害较大，传播速度快，故将其生物学特征，研究现状及目前采取的防治措施做一简单总结，为下一步研究玉米根虫的生物防治奠定基础。

1 玉米根虫的生物学特性

三种玉米根虫有相似的生命史，都会经历四个阶段：卵，幼虫，蛹，成虫。不同的是NCR和WCR一般以卵的形式过冬，而SCR一般以成虫的形式过冬。同时这三种根虫的成虫在外观上也有明显的区别。

1.1 NCR和WCR卵

NCR和WCR以卵的形式过冬。卵呈圆形或椭圆形，白色，一般在土壤中单个分部或者20~30个一组。卵在土壤中的分布与土壤的温度和湿度有很大的关系。温度低，湿度小则分布越深，同时耕作也会影响卵的分布深度。对于卵的孵化率及存活率，温度仍然是一个极为重要的因素。在实验室条件下，常温观测，发现卵的孵化率能达到60%~80% (Gassmann, 2012; Ellsbury et al., 1998)。将卵暴露于10℃环境下，存活率为89.8%，Lawson (1986)发现每降低1℃，存活率就下降0.38%。在一定温度下，卵会有滞育期。4℃和5℃是最合适的滞育温度，但长时间暴露在5℃条件下也是会降低存活率。一般卵胚至少要经过2周的预冷处理才能发育充分，经过8周的预冷处理会使存活率提高。

1.2 幼虫和蛹

自然状态下，NCR和WCR在每年的五月末至六月初幼虫开始孵化。刚孵化的玉米根虫会通过玉米根尖释放的CO₂直接找到玉米根，并开始进食。值得一提的是，CO₂是玉米根虫唯一的挥发性引诱剂(Blair et al., 2005)。幼虫会经过三个生长时期，每个时期约7~10 d。一龄幼虫体长不足3 cm，长至三龄时体长可达13 cm (Willson and Eisley, 2005)。值得注意的是，幼虫对温度很敏感，低龄幼虫尤甚。主要表现在，随着季节变换，土壤温度升高，孵化晚的幼虫比孵化早的幼虫发育的快。而在不同的温度下，存活率也有很大差异。在实验室条件下，WCR的卵在25℃，相对湿度60%的条件下，12 d左右就可以孵化(Binning et al., 2010)。幼虫在三龄后期会在土壤中化成蛹，蛹是白色的，呈半透明状。在蛹阶

段，玉米根虫将不再进食。不同地区的蛹在地下分布的深度不同，据调查，在美国明尼苏达州，蛹的最深分布位置至地下22.5 cm，离植物的根最远达62.5 cm。

1.3 成虫

成虫一般在每年的五月末六月初出现(图1; 图2)。WCR可以通过其淡黄色的翅膀及翅膀上的两条黑色条纹来识别；NCR的特点是身体的颜色由棕褐色渐变成浅绿色(Wright et al., 1999)。雄性成虫要比雌性成虫出现的早。在雌性成虫羽化后不久，就会出现交尾现象，但也有的要羽化一段时间后才开始交尾，交尾的时间可持续达3 h。在自然条件下，一般雌性在交尾13 d后就已受精，而在实验室条件下则需要21 d左右(Reissig, 1970)。成虫的产卵期可从6月底持续至9月底，每雌每年可产卵500~1000枚，雌虫的寿命从16~84 d不等，雄性寿命要比雌性的平均短25%。温度和湿度对雌虫产卵的行为有很大的影响，温度主要影响雌虫的产卵时间，湿度则会影响雌虫的产卵数量及产卵地点。Ball发现雌虫在温度低于10.7℃时不产卵，12.8~13.9℃是雌虫的最适产卵温度，结合自然环境温度，可以推断成虫主要是在晚上产卵(Summary Report, 2000)。雌虫喜欢在潮湿、松软的土壤里产卵，而且在潮湿的土壤中的产卵量要比在干燥土壤中的产卵量大。在自然条件下，雌虫喜欢在具有一定湿度的，有大裂缝的地方产卵，这样的环境下，孵化出的幼虫在土壤中运动时可以避免被砂砾擦伤，而当暴露在空气中时，也不会因为缺水而死亡(图3)。



图1 WCR成虫(Marlin E. Rice, ISU)

Figure 1 Western Corn Rootworm beetle (Marlin E. Rice, ISU)



图 2 NCR 成虫(Marlin E. Rice, ISU)
Figure 2 Northern Corn Rootworm beetle (Marlin E. Rice, ISU)

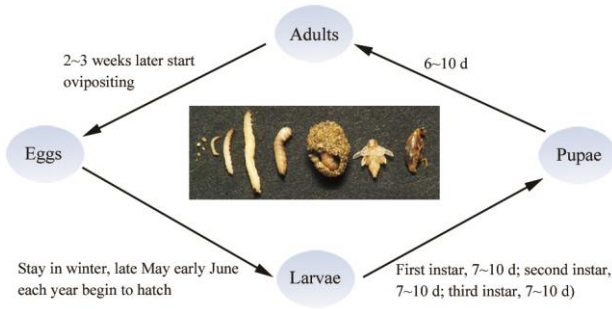


图 3 NCR 和 WCR 的生命史
Figure 3 Lifecycle of Northern Corn Rootworm and Western Corn Rootworm

SCR 与 **NCR** 和 **WCR** 不同的是, **SCR** 以成虫的形式度过冬天。在自然状态下, 每年的三月中旬开始, 温度在 15~20℃ 左右时, **SCR** 的成虫变得活跃, 开始进食并产卵, 产卵的时间自四月末持续至六月初。幼虫的孵化时间主要取决于温度, 一般会在产卵后 6~9 d 内孵化。幼虫期一般为 2~3.5 周, 在幼虫期的后期, 成熟的幼虫会找到合适的位置, 在土壤中建立一个窝, 然后在里边化蛹。蛹呈白色, 在后期会变成淡黄色并且外观上更像成虫。蛹期一般持续 6~10 d 就会孵化为成虫, **SCR** 的成虫翅膀呈亮黄绿色, 上有 12 个特色鲜明的黑色斑点 (Harsimran et al., 2013)。值得一提的是, 若温度适宜, **SCR** 会在同一年繁殖两代。**SCR** 不只是将玉米作为主要食物, 同时还会进食其他田间作物, 蔬菜, 野草及禾本科植物。**SCR** 对这些植物不仅危害到它们的茎和叶, 还会对其花朵和果实产生破坏 (Grantham, 2005) (图 4)。

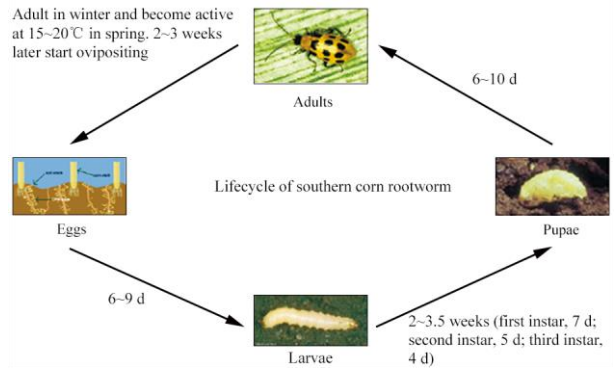


图 4 SCR 的生命史
Figure 4 Lifecycle of Southern Corn Rootworm

2 玉米根虫的防治进展

每年欧美地区在玉米根虫防治方面投入大量资金, 以控制玉米种植区玉米根虫的破坏。为了保障作物产量, 降低农业成本, 人们采取了一系列的应对措施。

2.1 采取轮作的耕种方式

在美国, 80% 的玉米种植区采取玉米大豆轮作的方式, 使得刚孵化出的幼虫由于缺少玉米根宿主无法存活, 从而降低玉米根虫的数量, 同时这种方法也有效的降低了农药的使用量。但是, 随着这种轮作方式的普及, 玉米根虫在自然选择下逐渐适应了这种种植方式, 如 **WCR** 通过延长卵的滞育期, 使得卵在孵化前能够在土壤中存活 2~3 年以上, 等到有合适的宿主时再孵化。这种轮作耕种模式使得玉米根虫的数量不但没有减少, 反而有增加的趋势。玉米根虫的另一种对轮作方式的适应模式是将卵产在豆地里, 这样在第二年种植玉米时, 卵孵化后就会有合适的宿主 (Gray et al., 2009; Xie et al., 2010)。

2.2 化学防治

对于成虫来说, 人们可以采用化学方法来防治。从最初的有机氯杀虫剂, 到有机磷杀虫剂, 氨基甲酸酯杀虫剂, 再到后来的拟虫菊酯杀虫剂, 随着使用时间的延长, 玉米根虫对这些化学药剂一一产生了抗性。而对于幼虫, 由于它们生活在土壤里, 一般农药很难发挥作用, 造成农药的大量浪费, 提高了农业成本。为了解决抗性, 人们开始研究使用混合型的杀虫剂, 如目前发挥了良好杀虫作用的混合型药剂是由葫芦素复合物, 挥发性引诱剂等饵料和少量的杀虫剂混合而成。葫芦素复合物是自

葫芦科植物中提取的一些不挥发的氧化三萜类化合物,能够对成虫起到强烈的刺激取食的作用。同时成虫食用葫芦素后,能够将其在脂肪组织内富集,使得虫体变苦,从而拒绝捕食者的捕食。挥发性引诱剂一般是从葫芦科植物花中提取一些苯类化合物和桂醛,从抽丝阶段的玉米中提取一些挥发性复合物,如 α -萜品醇,丙酮香叶酯等。这些挥发性物质与葫芦素复合物混合使用,能够强烈刺激成虫进行取食。

考虑到 CO_2 是幼虫唯一的挥发性引诱剂,且在一定浓度范围内,倾向于高浓度的 CO_2 ,人们开始利用这一特点进行研究,通过外向施加 CO_2 ,混淆幼虫对玉米根的识别能力,从而降低幼虫对根的危害。外加 CO_2 的来源有两种,一是利用碳酸盐水灌溉玉米地,以提高土壤中 CO_2 的浓度,同时也会增加土壤的养分。另一种方法是将碳酸氢钾与酸性混合物、杀虫剂颗粒混合使用,可以引诱幼虫吞食杀虫剂,提高杀虫剂的使用效率。为延长使用效果,还可以使用微生物,如酵母菌与海藻酸钙的混合物作为 CO_2 的来源,再辅以一定浓度的杀虫剂,可以取得同样的效果(Hibbard et al., 2010; Monsanto Company, 2013; Syngenta Company, 2013)。

科学家们还通过分析研究雌性成虫分泌的性激素成分,合成了性激素类似物 racemic 8-methyl-2-decanol propanoate,通过验证,发现该类似物能够引起成虫的反应,而且NCR在较低浓度下就可被吸引,而WCR则需要较高的浓度才会起作用(Kumar et al., 2012)。

但是大面积使用杀虫剂也存在很多弊端,如环境污染,费用高,有害物质的残留等。而且广谱的杀虫剂不仅对害虫有作用,对其天敌也会有毒杀作用,从而使得害虫由于缺少天敌的控制而引起再一次的爆发。同时杀虫剂的使用还会引起次要害虫的爆发,而成为主要害虫。

2.3 协调防治

协调防治是利用化学防治和生物防治相协调,避免产生害虫再爆发及次要害虫大量发生的问题。James等(2004)通过鉴定不同Bt菌对玉米根虫作用的活性基因,发现基因cry34Ba1编码的antirootworm蛋白质和Cry35Ba1蛋白,代表了一种新的二元毒素,这些蛋白可能成为对玉米根虫可持续控制管理的组成部分。同时利用害虫天敌来进行有效控制也

是一种新的方法。目前已经发现的玉米根虫的天敌如在美国、巴西、墨西哥发现的一种寄生蝇 *Tachinid compressa* Wulp,可在WCR虫体内产卵,寄生范围相当广,但是寄生率低,目前还未发现自然条件下能够在WCR虫体内产卵的情况。在阿根廷、巴西发现的茧蜂 *Braconidae centistes* 也是根虫的天敌。线虫也被作为玉米根虫天敌的研究对象(Xie et al., 2010; Fang et al., 2013; Firake et al., 2012; 梁照东等, 2012)。

3 展望

对于玉米根虫防治的研究,人们从未停止脚步,并且对其重视的程度也越来越高。2012年孟山都(Monsanto Company)设置了专门的机构对玉米根虫的防治进行了研究,并投入300万美元用以研究玉米根虫的防治,2013年又追加了300万美元到这个项目中,在这一年连续推出三款新型转基因玉米品种主要针对玉米根虫的防御,取得了良好的效果。先正达(Syngenta)公司也于2013年推出了一款转基因玉米品种Duracade用以抵制玉米根虫。2014年美国Syntech公司与中国海南热带农业资源开发利用研究所(HITAR)签署协议,开展了利用Bt毒蛋白对抗玉米根虫的相关研究,并取得了可观的进展。结合目前的研究进展,转基因玉米的研究及Bt毒蛋白的应用同其他物理化学方法相结合的手段仍将是今后研究的重点,同时随着对玉米根虫生理特性研究的深入,以及其他学科的综合应用,人们对玉米根虫的防治方法也会越来越多,越来越有效。

参考文献

- Blair D.S., Vaughn T.T., and Terence S., 2005, Baseline Susceptibility of Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) to Cry3Bb1 *Bacillus thuringiensis* Toxin, *Journal of Economic Entomology*, 98(4): 1320-1324
<http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-98.4.1320>
- Binning R.R., Lefko S.A., Milsap A.Y., Thompson S.D., and Nowatzki T.M., 2010, Estimating western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) larval susceptibility to event DAS-59122-7 maize, *J. Appl. Entomol.*, 134: 551-561
- Firake D.M., Damitre L., and Behere G.T., 2012, Bio-diversity and Seasonal Activity of Arthropod Fauna in Brassicaceous Crop Ecosystems of Meghalaya, North East India. *Molecular Entomology*, 3(4): 18-22
- Grantham R., 2005, <http://entopl.okstate.edu/ddd/insects/southerncornrootworm.html>

- Gray M.E., Sappington T.W., Miller N.J., Moeser J., and Bohn M.O., 2009, Adaptation and invasiveness of western corn rootworm: intensifying research on a worsening pest, *Annu. Rev. Entomol.*, 54: 303-321
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090434>
- Gassmann A.J., 2012, Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm: Predictions from the laboratory and effects in the field, *J. Invertebr. Pathol.*, 110: 287-293
- Harsimran K.G., Gaurav G., and Jennifer G.K., 2013, http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/bean/spotted_cucumber_beetle.html
- Hibbard B.E., Clark T.L., Ellersieck M.R., Meihls L.N., Khishen A.A.E., Kaster V., Steiner H.Y., and Kurtz R., 2010, Mortality of western corn rootworm larvae on MIR604 transgenic maize roots: field survivorship has no significant impact on survivorship of F1 progeny on MIR604, *J. Econ. Entomol.*, 103: 2187-2196
<http://dx.doi.org/10.1603/EC10179>
- James A.B., Chu C.R. and Rupa M., 2004, Binary Toxins from *Bacillus thuringiensis* Active against the Western Corn Rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, *Appl. and Environ. Microb.*, 70(8): 4889-4898
<http://dx.doi.org/10.1128/AEM.70.8.4889-4898.2004>
- Kumar R., Shamsad A., and Chandra R.K.D.U., 2012, Incidence of *Antigastra catalaunalis*, Dup. in Different Varieties of Sesame, *Molecular Entomology*, 3(1): 15-17
- Xie L., Zhang W.F., and Liu Z.M., 2010, Characterization of a New Highly Toxic Isolate of *Bacillus thuringiensis* from the Diapausing Larvae of Silkworm and Identification of *cryIA 22* Gene, *Bt Research*, 1(2): 2-10
- Liang Z.D., Zhong H., Zhou Y., and Li Y.Z., 2012, Identification of *Bacillus thuringiensis* Isolates Highly Toxic to *Plutella xylostella*, *Kunchong Fenzi Shengwuxue Yanjiu* (online) 1(2): 8-15 (梁照东, 钟昊, 周燕, 李有志, 2012, 对鳞翅目昆虫小菜蛾高毒力的苏云金芽孢杆菌的鉴定, *昆虫分子生物学研究*(online), 1(2): 8-15)
- Ellsbury M.M., Pikul J.L., and Woodson W.D., 1998, A review of insect survival in frozen soils with particular reference to soil-dwelling stages of corn rootworms, *Cold Regions Science and Technology*, 27(1): 49-56
[http://dx.doi.org/10.1016/S0165-232X\(97\)00023-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-232X(97)00023-2)
- Monsanto Company, 2013, <http://www.monsanto.com/products/pages/corn-rootworm.aspx>
- Reissig W.H., 1970, MS thesis. Kansas Univ., Manhattan, pp. 43
- Syngenta Company, 2013, http://www.farmassist.com/promo/CRW_201/traits4.html
- Summary Report, 2000. CABI Bioscience Centre Switzerland Agricultural Pest Research: 21-25
- Wright R., Lance M., and Keith J., 1999, <http://www.ianr.unl.edu/pubs/fieldcrops/ec1563.html>
- Willson H.R., and Easley J.B., 2005, <http://ohioline.osu.edu/ent-fact/0016.html>
- Fang X.J., Wang X., and Zhang W.F., 2013, Bt S2096-2, A *Bacillus thuringiensis* Strain with Highly Larvicidal Toxicity against Hookworm II Rhabditiform Larva (*Necator americanus*), *Bt Research*, 4(4): 21-23