



水稻螟虫诱杀植物香根草的发现与应用^{*}

鲁艳辉^{**} 郑许松 吕仲贤^{***}

(浙江省农业科学院, 重点实验室培育基地植物保护与微生物研究所, 杭州 310021)

摘 要 香根草 *Vetiveria zizanioides* L. 是一种多年丛生的草本植物。近年来研究发现香根草能够有效诱集水稻螟虫 (二化螟 *Chilo suppressalis* 和大螟 *Sesamia inferens*) 雌成虫在其上产卵, 但孵化出的幼虫在香根草上不能完成生活史。因此, 香根草对于水稻螟虫来讲是一种诱杀植物。开发以香根草为基础的水稻螟虫绿色防控技术, 不仅可以有效控制水稻螟虫, 减少农药使用, 还可以保育寄生蜂等天敌、增强生物多样性。香根草同时具有适应性强、种植管理轻简、无性繁殖不会扩散成为杂草、可供观赏等应用特点。因此, 利用诱杀植物香根草为水稻螟虫防治提供了一种生态调控新途径, 还可实现农民增收、改善生态环境, 具有重要的经济、生态和社会效益。

关键词 二化螟, 大螟, 诱杀植物, 香根草

The potential of vetiver grass as a biological control for the rice stem borers *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens*

LU Yan-Hui^{**} ZHENG Xu-Song LÜ Zhong-Xian^{***}

(State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology of Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou 310021, China)

Abstract Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides* is a perennial, tufty, herbaceous plant that is an attractive oviposition site for adult female rice stem borers of the species *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens*. However, because the larvae of these species cannot complete their life cycles on this plant it is effectively a natural trap for these pests. Planting *V. zizanioides* control *C. suppressalis* and *S. inferens* could reduce insecticide use, improve the effectiveness of natural enemies such as parasitoids and enhance biodiversity. *V. zizanioides* has the advantages of being highly adaptable, easy to plant and manage, ornamental and having a vegetative mode of propagation that prevents it becoming an invasive weed in farmland. Planting this grass could therefore, provide, a new, environmentally-friendly way of controlling of pests that both increases farmers' income and benefits the environment.

Key words *Chilo suppressalis*, *Sesamia inferens*, dead-end plant, vetiver grass

水稻螟虫主要包括二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 和大螟 (稻蛙茎夜蛾) *Sesamia inferens* (Walker) 等, 分属于鳞翅目 Lepidoptera 草螟科 Crambidae 和夜蛾科 Noctuidae。目前, 对于水稻螟虫化学防治依然是主要防治手段 (Lu

et al., 2017)。但长期不合理地使用化学农药导致二化螟抗药性不断提高, 残虫数量增加, 田间防效下降, 从而加大了二化螟的猖獗危害, 促使人们寻求与环境相容性更好的作物保护方式 (梁齐等, 2015)。

^{*}资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2016YFD0200800); 浙江省重点研发计划 (2018C02032) 和浙江省“三农六方”科技协作项目 (CTZB-F170623LWZ-SNY1-4)

^{**}第一作者 First author, E-mail: luyanhui4321@126.com

^{***}通讯作者 Corresponding author, E-mail: luzxmh@163.com

收稿日期 Received: 2018-10-23, 接受日期 Accepted: 2018-11-26

诱集植物,指能强力诱集害虫从而保护主栽作物免受害虫为害的植物,对目标害虫引诱作用明显高于主栽作物,因此往往用来作为田间辅助植物(Hokkanen, 1991; Boucher *et al.*, 2003)。诱杀植物是诱集植物的一种,指对害虫极具吸引力,但是一旦害虫取食或者在其上产卵,使得害虫及其后代无法生存的植物,从而有效地防止其后代在主栽作物上的为害(Badenes-Perez *et al.*, 2004; Shelton and Nault, 2004)。研究表明,菽麻可以作为诱杀植物来诱杀豇豆上的豆荚螟 *Maruca testulalis* (Jackai and Singh, 1983)。国内关于诱杀植物的研究并不多,目前,只在我国南方稻区,发现香根草 *Vetiveria zizanioides* 对水稻螟虫具有诱杀作用(陈先茂等, 2007; 郑许松等, 2009; 高广春等, 2015)。因此,本文将从诱杀植物香根草的发现过程、主要特征、作用特点、作用方式及其应用前景展望等方面介绍,旨在为香根草在南方乃至全国稻区螟虫绿色防控中的开发利用提供参考和依据。

1 诱杀植物香根草的发现过程

香根草原产于印度。1988 年,格雷姆肖将香根草引入世界银行中国南方红壤开发项目,由此,香根草在南方各省传播开来。许多大学和研究机构的专家们研究了香根草的生物学和生态学特性、香根草的栽培与管理方法等。研究结果表明香根草有利于红壤地区的土壤修复及河岸稳固,可有效减少地表径流和土壤侵蚀。

Van Den Berg 等(2003)最早发现香根草能有效引诱玉米禾螟 *Chilo partellus*, 降低其对玉米的危害。这给从事水稻害虫防治的专家提供了启发:水稻二化螟与玉米禾螟属于同一个属 *Chilo*, 那么香根草对水稻二化螟是否也具有诱集作用呢? 陈先茂等(2007)田间调查发现,种植香根草的小区水稻螟虫造成的枯心率比对照区降低了 50%以上。郑许松等(2009)室内研究表明,香根草具有引诱水稻螟虫雌成虫产卵的特性,二化螟在香根草上的产卵量是水稻上的 4 倍左右,并且孵化后的二化螟幼虫在香根草

上不能完成生活史,仅有极少数的幼虫能存活至 2 龄、3 龄,从而显著降低了二化螟种群数量,减少了其对水稻的危害。同样,郑许松等也发现香根草对大螟雌成虫也具有引诱其产卵的作用(数据未报道)。

2 主要特征

香根草学名 *Vetiveria zizanioides* L., 又名岩兰草,属禾本科 Poaceae 香根草属 *Vetiveria*, 因其根香,故名香根草,是一种多年丛生的草本植物。它适应能力强,生长繁殖快,根系发达,耐旱耐瘠,被 100 多个国家和地区列为理想的保持水土植物。

2.1 根

香根草发达的须根系统由茎和分蘖地下部分产生的不定根组成,呈密集网状向纵深生长,可深达 2-3 m,甚至可达 5 m,根粗为 0.6-2.2 mm (图 1)。根系初生为白色,后期逐渐呈现淡黄色。



图 1 香根草的根

Fig. 1 Vetiver roots

2.2 茎

香根草抽穗成熟后,茎秆高约 1.5-2.5 m,一般有节 16-20 节,每节有腋芽,每节间均由叶鞘包裹。茎稍扁圆柱形,质硬基本木质化,表面光

滑。无地下茎, 也无匍匐茎 (图 2)。



图 2 香根草的茎
Fig. 2 Vetiver stems

2.3 叶

香根草的叶片相对互生, 呈剑形, 较厚硬, 叶背中脉上部及叶边缘有细小锯齿状突起。叶背面青绿色, 叶宽 0.4-1.3 cm, 长 30-130 cm。叶基部呈“V”形折合, 上部渐平展。抽穗植株一般有叶 16-20 片, 叶层高 1.5 m 以上 (图 3)。

2.4 花

香根草为圆锥花序顶生, 紫色, 直立, 花序主轴粗壮, 穗长 15-40 cm, 分枝多数、轮生。无柄小穗均两性, 无芒, 雌雄同花, 雄蕊 3, 羽状

柱头 2。一般秋季抽穗开花, 花而不育极难结籽 (图 4)。



图 3 香根草的叶片
Fig. 3 Vetiver leaves



图 4 香根草的花
Fig. 4 Vetiver flowers

3 作用特点

香根草作为一种水稻螟虫的诱杀植物, 具有很多独特的优点。

3.1 控制水稻螟虫

作为水稻螟虫的诱杀植物, 香根草能够有效诱集水稻螟虫雌成虫在其上产卵, 并且孵化出的幼虫在香根草上不能完成生活史。因此, 香根草

可有效控制水稻螟虫。

3.2 保育寄生蜂等天敌

种植香根草可提高水稻螟虫卵寄生蜂黑卵蜂、赤眼蜂及其他虫期寄生蜂数量。

3.3 增强生物多样性

生态系统中物种丰富度越高, 结构越复杂, 生态系统就越稳定。水稻田埂种植香根草提高了稻田生态系统生物多样性, 是可持续农田生态系统重要的组成部分。

3.4 种植管理轻简

种一次、使用多年, 不需要特殊肥水管理, 适当修剪即可。

3.5 适应性强、应用区域广

香根草适应能力强, 生长繁殖快, 根系发达, 耐旱耐瘠, 在我国大部分水稻产区均可推广。

3.6 无性繁殖, 不会成为杂草

香根草开花不结子, 为无性繁殖, 以分蘖苗移栽种植, 也无地下匍匐茎。不会扩散成为杂草。

3.7 美丽乡村功能

香根草丛生, 高可达 2.5 m, 直径中空, 具有较高的观赏价值, 对乡村田园具有美化功能, 有助于建设美丽乡村。

4 作用机制

香根草作为一种水稻螟虫的诱杀植物, 其作用机制主要有引诱机制和致死机制两个方面。

4.1 香根草对水稻螟虫成虫的引诱机制

植物挥发物在鳞翅目成虫的寄主定向、交配、产卵、聚集等行为中发挥着重要作用, 影响昆虫在作物上栖息及繁殖, 进而影响其对作物的为害程度。同样, 香根草挥发物在其对水稻螟虫雌成虫的引诱过程中发挥重要作用 (鲁艳辉等, 2016)。我们分别收集香根草和水稻中的挥发物, 对比分析筛选出石竹烯、水杨酸甲酯、 β -罗勒烯

等对水稻螟虫具有较强引诱作用的香根草挥发物, 将这些挥发物进行配比并进行田间效果试验, 筛选出对二化螟具有引诱作用的香根草挥发物配方 17 个, 其中引诱作用较好的配方 5 个 (Lu *et al.*, 2018)。田间试验照片见图 5。

4.2 香根草对水稻螟虫幼虫的致死机制

从香根草石油醚萃取物中分离获得组分 1 (编号 Fr1) 和组分 5 (编号 Fr5) 对二化螟 3 龄幼虫的毒性较高, 以 0.05 g/mL 浓度饲喂 3 d 后死亡率分别为 85.00% 和 67.67%。香根草中总蛋白、纤维素、总糖、氨基酸等营养物质含量均显著低于水稻中相应营养物质含量。此外, 二化螟取食水稻和香根草 3 d 后, 取食香根草的幼虫体内蛋白酶、淀粉酶、海藻糖酶和蔗糖酶等消化酶的活性显著低于取食水稻幼虫体内相应消化酶的活性; 6 d 后, 取食香根草的幼虫体内细胞色素 P450 酶活性显著低于取食水稻的幼虫; 9 d 后, 取食香根草的幼虫体内羧酸酯酶 CarE 的活性显著低于取食水稻的幼虫。以上这些结果表明, 香根草对二化螟幼虫的致死作用主要表现在两方面: 一是香根草中含有对二化螟幼虫有致死作用的有毒活性物质, 这些物质通过抑制幼虫体内解毒酶 CarE 和 P450 酶的活性, 使幼虫逐渐丧失解毒代谢能力, 最终死亡; 二是香根草相对水稻营养物质匮乏, 二化螟幼虫取食香根草后营养不均衡, 从而影响体内消化酶活性, 造成消化功能紊乱, 最终死亡。本研究结果为鉴定香根草中的杀虫活性物质、开发新型杀虫剂提供了理论依据 (鲁艳辉等, 2017)。

5 香根草在水稻螟虫防治中的应用

诱杀植物香根草防控水稻螟虫是目前的研究热点。我们对应用香根草防治水稻螟虫的技术进行了多年的研究, 集成了基于诱杀植物香根草的水稻螟虫绿色防治技术体系, 并进行了实践应用, 结果表明技术体系对水稻螟虫防治效果十分高效 (图 6), 在水稻螟虫发生和为害最为严重的稻区都可实现全程非化学防控。

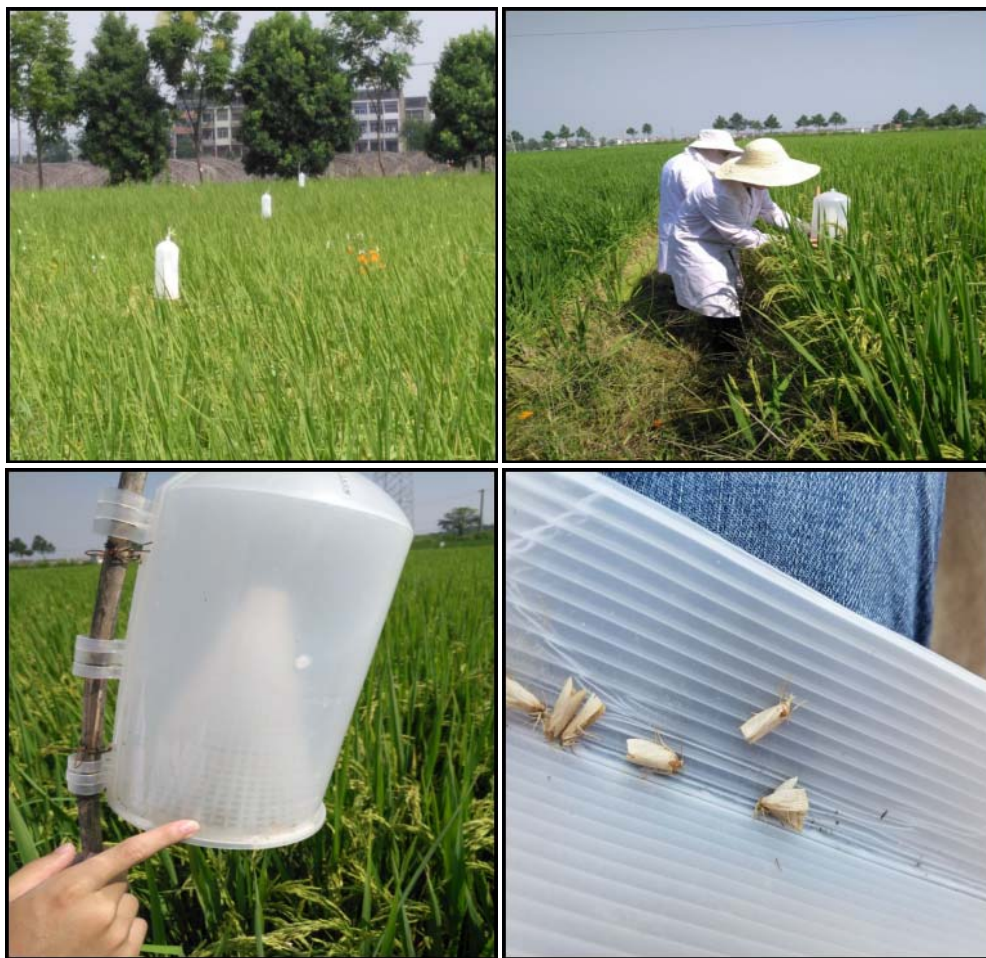


图 5 田间香根草挥发物诱集二化螟成虫实验

Fig. 5 Trapping *Chilo suppressalis* adults with vetiver volatiles in the field



图 6 田埂种植香根草诱集带诱杀水稻螟虫

Fig. 6 Trapping rice stem borers by planting vetiver traps on ridges

5.1 水稻二化螟生态控制的香根草田间布局验证

田埂上以一定空间布局种植香根草对越冬代二化螟种群密度有较好的控制效果。香根草控制区的稻田中不同距离(指调查点距离香根草诱集带的距离)越冬代二化螟均显著低于对照稻田,且不同距离上的二化螟幼虫密度很接近,不同距离上虫口减退率 76.2%-92.5%,在 25 m 距离上香根草控制区的虫口减退率也达到 80%左右,平均的虫口减退率达到 84.2%(郑许松等, 2017)。

5.2 香根草对稻田二化螟越冬虫量的控制效果

在距离田埂 5-25 m 的调查点,香根草种植区的二化螟越冬虫量均显著低于对照区。香根草

种植区的越冬二化螟幼虫平均密度为 13.8 头/100 丛, 对照区为 85.4 头/100 丛, 香根草种植区较对照区虫口减退率达 83.8% (郑许松等, 2017)。

5.3 种植香根草对寄生性天敌的保护和提高作用

天敌调查显示, 香根草种植区水稻螟虫卵寄生蜂黑卵蜂和赤眼蜂、其他虫期寄生蜂数量显著高于对照区。其中寄生蜂主要包括缘腹细蜂科 Scelionidae 的大螟黑卵蜂 *Telenomus sesamtae* 和二化螟黑卵蜂 *Telenomus chiloecolus*, 赤眼蜂主要包括赤眼蜂科 Trichogrammatidae 的稻螟赤眼蜂 *T. japonicus* 和螟黄赤眼蜂 *T. chilonis*, 其他寄生蜂为姬小蜂科 Eulophidae 的印啮小蜂 *Aceratoneuromyia indica* 和茧蜂科 Braconidae 弄蝶绒茧蜂 *Apanteles baoris* 和螟黄足绒茧蜂 *Apanteles flavipes* 等。香根草种植区二化螟天敌寄生蜂黑卵蜂、赤眼蜂及其他寄生蜂的数量分别较对照田提高了 2.8 倍、1.7 倍和 0.8 倍 (郑许松等, 2017)。

6 香根草的应用前景展望

香根草应用于水稻螟虫的田间控制, 减少了化学农药的使用, 有效修复了稻田生态系统的生物防治功能, 生态、经济和社会效益明显。

6.1 生态效益

发展以诱杀植物香根草为基础的水稻螟虫绿色防治技术可减少化学农药的使用, 减少农田、河流的化学农药污染, 改善和平衡生态环境, 同时, 香根草适生性强, 生长快, 具有很好的穿透性, 可以改良土壤、防止水土流失、绿化环境。此外, 香根草还具有重金属吸附, 水污染治理等重要功效, 是生态系统调控的重要组成部分。

6.2 经济效益

应用基于香根草防控技术体系能高效地防治水稻螟虫, 降低化学农药使用量少, 减少了药

本、工本。生产出来的大米是无公害健康的生态农产品, 市场价格高。香根草根可提取精油制香水及其他化工产品, 并且香根草还是品质优良、高产稳产的青饲料作物、优质手工编制材料和工业造纸、香精的原料, 可为农民带来高额回报, 具有巨大的经济价值。

6.3 社会效益

以诱杀植物香根草为基础的水稻螟虫绿色防治技术为害虫的综合防控及可持续控制提供了一条新途径。这种防治技术可减少化学农药的使用, 降低粮食中的农药残留, 从源头保障粮食生产加工的安全。且香根草丛生, 高可达 2.5 m, 直径中空, 具有较高的观赏价值, 对乡村田园具有美化功能, 有助于建设美丽乡村和乡村振兴, 从而实现其社会价值。

为实现水稻害虫可持续治理, 进一步推广以诱杀植物香根草为基础的水稻螟虫绿色防治技术, 还需进一步明确其作用机制, 深入开展田间防治技术实践研究, 为构建良好的水稻生产模式奠定坚实的理论和实践基础。

参考文献 (References)

- Badenes-Perez FR, Shelton FR, Nault AM, 2004. Evaluating trap crops for diamondback moth, *Plutellaxylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 97: 1365–1372.
- Boucher TJ, Ashley R, Durgay R, 2003. Managing the pepper maggot (Diptera: Tephritidae) using perimeter trap cropping. *Journal of Economic Entomology*, 96: 420–432.
- Chen XM, Peng CR, Yao FX, Guan XJ, Wang HL, Deng GQ, 2007. Study on technique and effect of vetiver for trapping and killing rice borer. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 19(12): 51–52. [陈先茂, 彭春瑞, 姚锋先, 关贤交, 王华伶, 邓国强, 2007. 利用香根草诱集诱杀水稻螟虫的技术及效果研究. 江西农业学报, 19(12): 51–52.]
- Gao GC, Li J, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, Tian JC, Lu ZX, 2015. Effects of extracts from *Vetiveria zizanioides* on growth and development, activities of protective enzymes of *C. suppressalis*. *Bulletin of Science and Technology*, 31(5): 97–101. [高广春, 李军, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 田俊策, 吕仲贤, 2015. 香根草提取物对二化螟生长发育及体内保护酶活性的影响. 科技通报, 31(5): 97–101.]

- Hokkanen HMT, 1991. Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 36: 119–138.
- Jackai LEN, Singh SR, 1983. Suitability of selected leguminous plants for development of *Maruca testulalis* larvae. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 34: 174–178.
- Liang Q, Lu YH, He XC, Zheng XS, Xu HX, Yang YJ, Tian JC, Lu ZX, 2015. Mini review of the significance of trap crop in insect pest management. *Journal of Biosafety*, 24(3): 184–193. [梁齐, 鲁艳辉, 何晓婵, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 田俊策, 吕仲贤, 2015. 诱集植物在害虫治理中的最新研究进展. 生物安全学报, 24(3): 184–193.]
- Lu YH, Gao GC, Zheng XS, Lu ZX, 2017. The lethal mechanism of trap plant *Vetiveria zizanioides* against the larvae of *Chilo suppressalis*. *Scientia Agricultura Sinica*, 50(3): 486–495. [鲁艳辉, 高广春, 郑许松, 吕仲贤, 2017. 诱集植物香根草对二化螟幼虫致死的作用机制. 中国农业科学, 50(3): 486–495.]
- Lu YH, Gao GC, Zheng XS, Wang GR, Lu ZX, 2016. Effect of growth stages and nitrogen fertilization on the volatiles of rice stem borer trap plant vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*). *Chinese Journal of Biological Control*, 32(5): 604–609. [鲁艳辉, 高广春, 郑许松, 王国荣, 吕仲贤, 2016. 不同生育期和氮肥水平对水稻螟虫诱集植物香根草挥发物的影响. 中国生物防治学报, 32(5): 604–609.]
- Lu YH, Wang GR, Zhong LQ, Zhang FC, Bai Q, Zheng XS, Lu ZX, 2017. Resistance monitoring of *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae) to chlorantraniliprole in eight field populations from east and central China. *Crop Protection*, 100: 196–202.
- Lu YH, Zheng XS, Lu ZX, 2018. Application of vetiver grass *Vetiveria zizanioides*: Poaceae (L.) as a trap plant for rice stem borer *Chilo suppressalis*: Crambidae (Walker) in the paddy fields. *Journal of Integrative Agriculture*, 17: 60345–60347. (In press)
- Shelton AM, Nault BA, 2004. Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutellaxystella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 23: 497–503.
- Van den Berg J, Midega C, Wadhams LJ, 2003. Can *Vetiveria zizanioides* grass be used to manage insect pests on crops? // Maha CS, Chen Z, Song H, Luo FH (eds.). China: *Vetiveria zizanioides* and Water. Third International Conference on Vetiver-ICV3. Guangzhou. 262–273.
- Zheng XS, Lu YH, Zhong LQ, Huang XF, Chen HB, Yao XM, Lu ZX, 2017. Application and practice of green control technology for controlling *Chilo suppressalis* in Zhejiang Province. *China Plant Protection*, 37(11): 42–46. [郑许松, 鲁艳辉, 钟列权, 黄贤夫, 陈海波, 姚晓明, 吕仲贤, 2017. 浙江省水稻二化螟绿色防控技术应用实践. 中国植保导刊, 37(11): 42–46.]
- Zheng XS, Xu HX, Chen GH, Wu JX, Lu ZX, 2009. Potential function of Sudan grass and vetiver grass as trap crops for suppressing population of striped stem borer, *Chilo suppressalis* in rice. *Chinese Journal of Biological Control*, 25(4): 299–303. [郑许松, 徐红星, 陈桂华, 吴降星, 吕仲贤, 2009. 苏丹草和香根草作为诱虫植物对稻田二化螟种群的抑制作用评估. 中国生物防治, 25(4): 299–303.]