



袁曦, 邓伟丽, 郭义, 王志烘, 李敦松. 螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾卵寄生效果评价 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 290–296.

螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾卵寄生效果评价

袁曦, 邓伟丽, 郭义, 王志烘, 李敦松*

(广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640)

摘要: 为了明确螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 卵寄生效果, 室内组建了螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的实验种群生命表, 调查统计了释放螟黄赤眼蜂后田间草地贪夜蛾卵的寄生率和幼虫的虫口减退率, 并分析了释放距离对寄生效果的关系。结果显示, 螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的净生殖力 $R_0 = 10.8407$, 内禀增长率 $r_m = 0.0.2220$, 周限生长率 $\lambda = 1.2486$, 单雌平均产雌率 $R_0' = 13.8877$ 。放蜂区草地贪夜蛾卵块寄生率 64.44%, 卵粒寄生率 35.42%, 显著高于对照区, 释放赤眼蜂第 7 天田间草地贪夜蛾虫口减退率 58.92%, 防效 50.50%。释放距离为 5 m 内螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾卵寄生效果的无显著影响。结果表明螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾卵有较高的寄生效能, 田间释放螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾卵具较高的寄生率和明显的幼虫虫口减退率, 释放螟黄赤眼蜂对降低草地贪夜蛾虫源基数起着重要的作用。

关键词: 草地贪夜蛾; 螟黄赤眼蜂; 生命表; 寄生率; 防治效果

中图分类号: Q968.1; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 02-0290-07

Evaluation of parasitism on eggs of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) by *Trichogramma chilonis*

YUAN Xi, DENG Wei-Li, GUO Yi, WANG Zhi-Hong, LI Dun-Song* (Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Guangzhou 510640, China)

Abstract: For clarifying parasitism on *Spodoptera frugiperda* by releasing *Trichogramma chilonis*, life table of the experimental population of *T. chilonis* on *S. frugiperda* eggs was constructed in laboratory, and control efficacy of releasing *T. chilonis* for *S. frugiperda* was evaluated, and as well as the relationship between release distance and parasitic effect were analyzed. Results showed that net reproductive rate (R_0) and average female laying rate per female *T. chilonis* (R_0') on *S. frugiperda* eggs were 10.8407 and 13.8877. Parasitism rate and decrease rate of *S. frugiperda* were 35.42%, 58.92% by releasing *T. chilonis*. Control effect was not significantly affected by release distance within 5 m. Results indicated that releasing of *T. chilonis* had good control effect on *S. frugiperda* by high parasitic efficiency and the decreased population rate of larvae. Release of *T. chilonis* had played an important role in reducing the initial population size of *S. frugiperda*.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; *Trichogramma chilonis*; life table; parasitism rate; control effect

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (吴孔明, 2020), 入侵我国后迅速蔓延到西南、华南、华北等多个地区的 26 省 (区、市) (姜玉是 2018 年 12 月 11 日入侵我国的重大迁飞性害虫)

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1400703)

作者简介: 袁曦, 女, 1983 年生, 副研究员, 研究方向为农业害虫生物防治, E-mail: 13427690102@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 李敦松, 男, 研究员, 研究方向为农业害虫生物防治, E-mail: dsli@gdppri.cn

收稿日期 Received: 2021-12-15; 接受日期 Accepted: 2022-02-20

英等, 2019), 在我国很快进入严重发生阶段并完成定殖过程, 严重威胁我国玉米 *Zea mays* L. 各产区。草地贪夜蛾为害植物种类达 300 余种, 我国潜在被其为害的风险作物种植面积非常广泛, 与上世纪 90 年代棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 相比, 草地贪夜蛾具有更大的爆发灾变危险, 对我国粮食安全生产造成潜在危险 (郭井菲等, 2018; 郭井菲等, 2019; 江幸福等, 2019; 秦誉嘉等, 2019; 杨学礼等, 2019; 吴孔明, 2020)。

周年繁殖区玉米种植面积占全国玉米种植总面积的 5.55%, 为草地贪夜蛾越冬提供了适宜的寄主和气候条件, 是草地贪夜蛾次年全国发生的主要虫源地, 控制草地贪夜蛾在周年繁殖区的虫源基数, 并减少迁出虫量, 对草地贪夜蛾来年全国范围防治有重要意义 (刘蔚楠等, 2016; 林尤珍等, 2017; 时成俏, 2019; 王磊等, 2019; 杨普云等, 2019)。天敌是草地贪夜蛾重要控制因子 (da Silva *et al.*, 2009; Oliveira de Moraes *et al.*, 2015; Prasanna *et al.*, 2018; Grijalba *et al.*, 2018), 其中寄生天敌起到重要作用 (Molina-Ochoa *et al.*, 2003; Murua *et al.*, 2009; Rios-Velasco *et al.*, 2011a; Gutierrez-Ramirez *et al.*, 2015; Shylesha *et al.*, 2018)。螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* 是周年繁殖区草地贪夜蛾的自然天敌 (李志刚等, 2019), 对草地贪夜蛾有较高寄生率 (杨建国, 2019; Abang *et al.*, 2021)。释放赤眼蜂减少周年繁殖区草地贪夜蛾虫源基数和迁出虫量, 是减少我国防治草地贪夜蛾化学农药使用量、构建绿色可持续控制技术体系的重要手段 (唐璞等, 2019)。目前尚无螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的实验种群生命表, 和螟黄赤眼蜂在周年繁殖区的田间防效的报道。本文通过室内组建螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的实验种群生命表, 调查统计螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾田间防效, 从而评价螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生效果, 为草地贪夜蛾化学农药减量使用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

螟黄赤眼蜂: 采集于广西南宁市甘蔗条螟 *Proceras venosatum* 和二点螟 *Chilo infuscatellus* 的田

间自然卵块。在室内鉴定纯化培育, 用米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵繁育多代用于试验。

供试草地贪夜蛾卵块: 草地贪夜蛾采自广东省阳江市青储玉米田里玉米品种桂单 0180 植株上, 在试验室人工气候培养箱 (江南仪器厂 RXZ-288 智能气候箱, 温度 $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, RH $85\% \pm 10\%$, 光照 L:D = 14:10, 光照强度 8 000 lx) 内饲养多代用于试验。草地贪夜蛾幼虫饲养方法参照袁曦等 (2021), 甜玉米购买于在京东购物商城绿鲜知自营旗舰店, 商品编号 6856481, 非转基因, 产地云南玉溪。

1.2 试验方法

1.2.1 生命表编制方法

温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, RH 70% ~ 80%, 光照 L:D = 14:10 的人工气候箱内, 编制螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵块上的实验种群生命表。参照黄寿山 (1996) 的制作方法, 在草地贪夜蛾内的赤眼蜂羽化高峰期, 接入蜂卵比 1:5 的草地贪夜蛾卵块, 接蜂 2 h 后结束寄生环节并清理干净草地贪夜蛾卵块上的赤眼蜂成虫。记录接入草地贪夜蛾卵块时间作为 X (试验种群生命表组建中雌性个体的年龄) 计算的起点, X 以 24 h 为单位。被寄生的草地贪夜蛾卵块放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的智能气候箱内发育, 第 5 天挑取 100 头表皮黑色的卵粒, 将 100 头黑色卵粒装入玻璃管 (直径 1 cm, 管长 8 cm) 里, 按照时段记录羽化时间和各时段羽化的雌雄蜂数量, 将羽化出的成虫引入玻璃管, 每头成虫均独立装入每支玻璃管内, 各时段记录已羽化的成虫存活情况。

将每管羽化出的雌成虫一一编号, 并接入约 100 头的新鲜草地贪夜蛾卵, 每 X 时段更换一次管内的卵卡, 直至管内成虫死亡。螟黄赤眼蜂雄蜂羽化后, 待雌蜂羽化出壳或在大粒寄主卵内即交配 (李丽英和张月华, 1980), 因此每 X 时段引出的雌蜂视为已交配。试验中对螟黄赤眼蜂成虫没有喂食营养物质和水。对每个卵卡编号并独立装入玻璃管, 放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、RH 70% ~ 80% 的人工气候箱内发育, 为了防止草地贪夜蛾初孵幼虫取食其他卵粒, 试验中及时观察并用毛笔将草地贪夜蛾卵块上初孵幼虫轻扫去除。由于寄生草地贪夜蛾的螟黄赤眼蜂子代卵、幼虫和蛹期均在寄主卵内, 难以统计每头雌蜂实际产仔数, 因此参

照黄寿山 (1996) 的制作方法, 将子代卵卡羽化出的子代成虫数量作为对应母代雌蜂在该时段产出子代数的估计, 将该卵卡羽化出的子代雌成虫数量作为对应母代雌蜂在该时段产出雌性子代的估计。各母代雌蜂在相同 X 时段产下子代数的合计, 作为实验种群在 X 时段的繁殖力总量。

1.2.2 生命表特征参数的计算

生命表参数的计算参照徐汝梅等 (1987)。计算雌性存活概率 L_x 、存活雌性产雌概率 m_x 、净生殖力 $R_0 = \sum L_x \cdot m_x$ 、内禀增长率 $r_m = \ln R_0 / T$ 、周限生长率 $\lambda = e^{r_m}$ 和世代的平均历期 $T = \sum x \cdot L_x \cdot m_x / \sum L_x \cdot m_x$ 。

1.2.3 螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾田间防治效果调查

在广州市白云区广东省农科院钟落潭基地作物研究所玉米育种区域, 选取 1 个区域进行释放螟黄赤眼蜂防治草地贪夜蛾效果的田间试验。根据李敦松等 (2013) 报道, 赤眼蜂田间应用有人工淹没式和无人机释放两种方法, 本次实验需要较精准释放螟黄赤眼蜂数量和位置, 因此利用人工将赤眼蜂蜂卡悬挂固定到玉米植株叶片背面, 淹没式释放到放蜂区。本次试验释放点 150 个/hm², 均匀释放到玉米田间, 释放密度为 1.5×10^5 头/hm², 释放 1 次赤眼蜂。选取距离放蜂区 100 m 管理水平和玉米品种均相同的玉米地, 作为试验对照区。

释放螟黄赤眼蜂的同时, 在放蜂区和对照区间隔 10 m 悬挂草地贪夜蛾卵块, 草地贪夜蛾卵卡由室内饲养收集所得, 每个卵卡载有约 100 粒卵草地贪夜蛾 24 h 内产下的新鲜卵。用红色塑料绳在草地贪夜蛾卵卡释放处做好明显标记, 便于后期回收卵卡。释放后第 4 天回收草地贪夜蛾卵块, 放蜂区和对照区回收卵块均 30 块, 卵卡带回室内置于室温下培育并统计寄生情况。在放蜂区和对照区五点法各选取 5 点, 每点选 10 株有草地贪夜蛾幼虫的玉米植株, 将选定植株用塑料绳标记确定。放蜂前统计这 100 株玉米植株上草地贪夜蛾及其他螟虫幼虫活虫数, 放蜂后第 7 天再调查该 100 株植株上对应幼虫活虫数。计算虫口减退率和校正防效。

1.2.4 释放距离对螟黄赤眼蜂寄生草地贪夜蛾卵效果影响调查

在广州市白云区广东省农科院钟落潭基地作

物研究所玉米育种区域, 选取 4 块间隔的田块进行螟黄赤眼蜂释放距离对草地贪夜蛾防治效果影响的田间试验。4 个田块中的 3 块用于释放赤眼蜂, 每个放蜂田块划分为 4 个小区, 各小区间隔 20 m 以上。另外设置间隔 3 个放蜂区 100 m 的不释放赤眼蜂的玉米地为对照区, 4 个田块的喷施农药等田间管理方法和栽培的玉米品种均相同。每个小区的正中心为螟黄赤眼蜂释放点, 赤眼蜂采用人工方法将放蜂卡固定在玉米植株叶片背面, 本次试验共释放 1 次赤眼蜂, 1 个释放点释放 1 个赤眼蜂蜂卡, 蜂卡载有 1 000 头螟黄赤眼蜂。从赤眼蜂释放点沿东西南北四个方向各间隔 1、3 和 5 m 悬挂草地贪夜蛾卵卡, 释放螟黄赤眼蜂蜂卡的玉米当棵植株上也悬挂草地贪夜蛾卵块, 标记为距离 0 m, 其他卵卡到赤眼蜂释放点的距离以卷尺丈量为准。每个小区 1、3 和 5 m 卵块各 4 个重复, 共设置 3 个重复田块。释放赤眼蜂第 4 天回收所有的草地贪夜蛾卵块, 带回室内置于室温下培育并统计寄生情况。

1.3 数据分析

所有数据用 Excel 统计, 用软件 SPSS 20.0 进行单因素方差分析 Duncan 检验 (各释放距离的差异) 和 Dunnett 检验 (处理数据和对照是否差异显著) 分析处理 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的实验种群生命表

由于螟黄赤眼蜂卵、幼虫和蛹均在草地贪夜蛾卵内存活, 寄生产雌雄子代数量难以统计, 因此将子代卵卡羽化出的子代成虫数量作为对应母代雌蜂在该时段产出子代数的估计, 将该卵卡羽化出的子代雌成虫数量作为对应母代雌蜂在该时段产出雌性子代的估计。

螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的净生殖力 $R_0 = 10.8407$, 世代的平均历期 $T = 10.7348$, 内禀增长率 $r_m = 0.2220$, 周限生长率 $\lambda = 1.2486$, 每雌产仔数 = 14.2273, 雌性比率 $P_{\text{♀}} = 0.7806$, 雌蜂寿命 = 11.4659 d, 单雌平均产雌率 $R_0' = R_0 / P_{\text{♀}} = 13.8877$ 。单雌平均产雌率 R_0' 较高, 说明螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾的寄生效能较高。

表 1 螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的生殖力

Table 1 Fertility table of *Trichogramma chilonis* on *Spodoptera frugiperda*

X	存活的雌蜂数	L_x	逐日产雌头数	m_x	$L_x m_x$	$XL_x m_x$
	Survived amount of female <i>T. chilonis</i>		Daily reproduction of female <i>T. chilonis</i>			
1	88	1	0	0	0	0
...						
9	88	1	0	0	0	0
10	86	0.9773	335	3.8953	3.8066	38.066
11	33	0.8295	537	7.3562	6.1023	67.1253
12	10	0.1136	82	8.2000	0.9318	11.1818
13	0	0	0	0	0	0

2.2 田间释放螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾的防治效果

放蜂区的草地贪夜蛾卵块寄生率 64.44%，显著高于未放蜂对照区 6.45% ($F = 15.069$, $df = 5$, $P = 0.018$)。卵粒寄生率 35.42% ± 5.80%，显著高于对照区 0.03% ± 0.03% ($F = 43.839$, $df = 59$, $P = 0$)，表明田间释放赤眼蜂显著提高了草地

贪夜蛾卵的被寄生率。释放赤眼蜂第 7 天后田间草地贪夜蛾虫口减退率 58.92% ± 2.33%，防效达 50.50% ± 1.47%，结果表明释放螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾有显著的防治效果。释放螟黄赤眼蜂也显著减少了亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 等其他螟虫的虫口密度，防效达 38.14% ± 1.82%。

表 2 螟黄赤眼蜂的田间防治效果

Table 2 Control effect of *Trichogramma chilonis* in field

处理组 Treatment group	卵块寄生率 (%) Parasitism rate of egg mass	卵粒寄生率 (%) Parasitism rate of egg	处理第 7 天 7 d after treatment			
			草地贪夜蛾 虫口减退率 (%) Population decline rate of <i>S. frugiperda</i>	草地贪夜蛾 防效 (%) Control effect of <i>S. frugiperda</i>	其他螟虫虫口 减退率 (%) Population decline rate of other corn borers	其他螟虫 防效 (%) Control effect of other corn borers
放蜂区 Area of release <i>T. chilonis</i>	64.44*	35.42 ± 5.80*	58.92 ± 2.33*	50.50 ± 1.47	43.25 ± 1.38*	38.14 ± 1.82
对照区 CK	6.45	0.03 ± 0.03	9.72 ± 2.19	-	8.26 ± 1.97	-

注: 图中*表示在 0.05 水平下与对照差异显著, Note: * Behind the data stand for the significant difference with the control group at the level of 0.05.

2.3 释放距离对田间寄生效能的影响

草地贪夜蛾卵块距离赤眼蜂卡释放点 0、1、3 和 5 m 时, 卵寄生粒数分别为 26.60 ± 6.12、37.43 ± 8.71、25.83 ± 8.46 和 17.80 ± 6.11, 处理间差异不显著 ($F = 1.343$, $df = 27$, $P = 0.284$)。卵粒寄生率分别为 38.51% ± 10.82%、35.27% ± 8.80%、32.29% ± 12.17% 和 19.23% ± 6.51%, 处理间的卵粒寄生率差异也不显著 ($F = 1.005$, $df = 27$, $P = 0.408$), 说明释放距离 5 m 对螟黄赤

眼蜂寄生草地贪夜蛾效果无显著差异。由于同一处理各重复的卵块被寄生卵粒数和寄生率差异很大, 有的卵块只寄生 1~2 粒, 而有的卵块寄生 50 粒以上, 从而导致不同释放距离处理的卵寄生粒数和寄生率在统计学意义上无差异, 但平均值差异已经超过 100% 的现象。回收的草地贪夜蛾卵块部分被自然界夜蛾黑卵蜂 *Telenomus remus* 寄生, 黑卵蜂寄生粒数各处理间差异不显著 ($F = 10.695$, $df = 14$, $P = 0.574$)。

表 3 释放距离对草地贪夜蛾卵寄生率效能的影响

Table 3 Effect of releasing distances on control effect of *Trichogramma chilonis* on *Spodoptera frugiperda* egg mass

距离 Distance	0 m	1 m	3 m	5 m
卵粒寄生量 Number of parasitied eggs	26.60 ± 6.12	37.43 ± 8.71	25.83 ± 8.46	17.80 ± 6.11
卵粒寄生率 (%) Parasitism rate	38.51 ± 10.82	35.27 ± 8.80	32.29 ± 12.17	19.23 ± 6.51
黑卵蜂寄生粒数 Number of parasitied eggs by <i>T. remus</i>	3.00 ± 1.53	5.25 ± 2.02	7.33 ± 3.18	8.40 ± 3.20

3 结论与讨论

组建实验种群生命表评价“蜂-卵”的寄生效能,具有农药室内毒力测定的类似功能,减少了仅通过田间试验检测防治效果的局限性,对于赤眼蜂淹没式田间应用有重要的参考意义(黄寿山等,1996)。螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上的净生殖力 R_0 、内禀增长率 r_m 、周限生长率 λ 、每雌产仔数、雌性比率、单雌平均产雌率 R_0' 等指标均较高,和玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostrinae* 在亚洲玉米螟卵上的各指标处于类似水平(胡学难等,2004;袁曦等,2016),说明室内测定螟黄赤眼蜂对草地贪夜蛾卵有较高的寄生效能,具有较好的田间应用潜力。

田间释放螟黄赤眼蜂,能显著提高草地贪夜蛾卵的寄生率和幼虫虫口减退率,这和苏湘宁等(2019)、杨建国等(2019)、田俊策等(2020)、朱凯辉等(2020)、Abang *et al.* (2021) 的报道一致。本试验田间草地贪夜蛾卵寄生率 35.42%,较上述报告的寄生率低,本田间试验防效 50.50%,也低于苏湘宁等(2020)的 54.87%、杨建国等(2019)的 66.7%,分析有以下几点原因:一是本试验开展场地为育种基地,基地为了保证育种效率,常年频繁喷施农药,田间赤眼蜂等天敌自然种群偏低,从而导致田间试验中卵寄生率偏低;二是本次试验考虑基地田间虫口基数低,只释放了 1 次螟黄赤眼蜂。而上述报道均释放了 2 次赤眼蜂后调查寄生率和防效,因此寄生率和防效高于本试验;三是朱凯辉等(2020)文中数据显示释放到田间并收回的草地贪夜蛾卵块,赤眼蜂和夜蛾黑卵蜂在其上的寄生率,均低于对田间自然卵块的寄生率。本试验采用释放草地贪夜蛾卵卡到田间并收回以测定寄生效率,推测是

寄生率较低的原因之一。

试验中 5 m 内释放距离对螟黄赤眼蜂在草地贪夜蛾卵上寄生率在统计学上无显著影响,但平均值差异已经超过 100%。同一处理内均载有 100 粒左右的卵块上,有的重复只寄生 1~2 粒,而有的重复寄生 50 粒以上,甚至高达 75 粒,为了遵循试验数据的准确性,本试验数据分析时没有剔除只被寄生 1~2 粒卵块和被寄生 75 粒的卵块,从而导致了上述现象。同一处理间重复的寄生卵数和寄生率差异很大,分析有以下原因:一是温度、湿度、风速、风向、年份、月份、气候条件、农田环境等多种因素影响赤眼蜂扩散距离和扩散方向(周丽楚等,1983;张青文等,1998;何余容等,2000;胡学难等,2003;Chapman *et al.*,2009;田俊策等,2017),使种群在局部扩散较多而其他位置扩散较少,进而造成卵块寄生卵数和寄生率差异;二是本次试验小区以 1 个载有 1 000 头的赤眼蜂卵卡为中心,四周设置 4 个处理,每个处理 4 个重复,卵卡四周布置的草地贪夜蛾卵块比常规玉米地多,从而出现部分卵块上被寄生卵粒极低(0~2 粒)的情况。

在玉米田间释放螟黄赤眼蜂不仅能对草地贪夜蛾有较好的防效,而且也能对亚洲玉米螟和桃蛀螟 *Dichocrocis punctiferalis* 等其他螟虫起到一定防效。释放螟黄赤眼蜂替代部分化学农药使用的同时,也保护了夜蛾黑卵蜂等重要天敌,在周年繁殖区释放螟黄赤眼蜂减少虫源基数,压低春季向北方的迁出虫量,对来年全国范围的草地贪夜蛾防控工作有重要作用。螟黄赤眼蜂我国已实现商业化生产,在全国玉米主要产区大面积释放螟黄赤眼蜂,是防治草地贪夜蛾的有效方法之一,对控制草地贪夜蛾田间种群和减少农药使用有较大意义。

参考文献 (References)

- Abang AF, Nanga SN, Kuate AF, et al. Natural enemies of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in different agro-ecologies [J]. *Insects*, 2021, 12 (6): 509.
- Chapman AV, Kuhar TP, Schultz PB, et al. Dispersal of *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in potato fields [J]. *Environmental Entomology*, 2009, 38 (3): 677–685.
- da Silva AB, Batista JD, de Brito CH. Predatory capacity of *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) on *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) [J]. *Acta Scientiarum Agronomy*, 2009, 31 (1): 7–11.
- Grijalba EP, Espinel C, Cuartas PE, et al. *Metarhizium rileyi* biopesticide to control *Spodoptera frugiperda*: Stability and insecticidal activity under glasshouse conditions [J]. *Fungal Biology*, 2018, 122 (11): 1069–1076.
- Guo JF, He KL, Wang ZY. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (3): 361–369. [郭井菲, 何康来, 王振营. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (3): 361–369]
- Guo JF, Zhao JZ, He KL, et al. Potential invasion of the crop – devastating insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (6): 1–10. [郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国 [J]. 植物保护, 2018, 44 (6): 1–10]
- Gutierrez-Ramirez A, Robles-Bermudez A, Cambero-Campos J, et al. Parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) found in Nayarit, Mexico [J]. *Southwestern Entomologist*, 2015, 40 (3): 555–563.
- He RY, Lv LH, Pang XF. Diffusion dynamics of *Trichogramma confusum* Viggiani and *T. pretiosum* in vegetable core [J]. *Natural Enemies of Insects*, 2000, 22 (3): 97–101. [何余容, 吕利华, 庞雄飞. 拟澳洲赤眼蜂和短管赤眼蜂在菜芯地的扩散动态 [J]. 昆虫天敌, 2000, 22 (3): 97–101]
- Hu XN, Liang GW. Control of *Trichogramma ostrinae* to Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* [J]. *Acta Phytomyologica Sinica*, 2004, 3: 331–332. [胡学难, 梁广文. 玉米螟赤眼蜂对亚洲玉米螟种群的控制作用 [J]. 植物保护学报, 2004, 3: 331–332]
- Hu XN, Liang GW, Pang XF. Parasitization by dispersion of *Trichogramma ostrinae* in sweet corn fields [J]. *Entomological Knowledge*, 2003, 40 (3): 224–228. [胡学难, 梁广文, 庞雄飞. 玉米螟赤眼蜂在甜玉米地寄生率和扩散规律的研究 [J]. 应用昆虫学报, 2003, 40 (3): 224–228]
- Huang SS, Dai ZY, Wu DZ. The establishment and application of the experimental population life tables of *Trichogramma* spp. on different hosts [J]. *Acta Phytomyologica Sinica*, 1996, 3: 209–212. [黄寿山, 戴志一, 吴达璋. 赤眼蜂实验种群生命表的编制与应用 [J]. 植物保护学报, 1996, 3: 209–212]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, et al. Advances in migration and monitoring technology of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (1): 12–18. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 草地贪夜蛾迁飞行为与监测技术研究进展 [J]. 植物保护, 2019, 45 (1): 12–18.]
- Jiang YY, Liu J, Zhu XM. Occurrence dynamics and future trend of *Spodoptera frugiperda* invasion in China [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (2): 33–35. [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (2): 33–35]
- Li DS, Yuan X, Zhang BX, et al. Report of using unmanned aerial vehicle to release *Trichogramma* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2013, 29 (3): 455–458. [李敦松, 袁曦, 张宝鑫, 等. 利用无人机释放赤眼蜂研究 [J]. 中国生物防治学报, 2013, 29 (3): 455–458]
- Li LY, Zhang YH. Inbreeding of *Trichogramma* [J]. *Natural Enemies of Insect*, 1980, 3: 1–4. [李丽英, 张月华. 赤眼蜂的近亲繁殖 [J]. 昆虫天敌, 1980, 3: 1–4]
- Li ZG, Lv X, Ya YK, et al. The parasitism of *Telenomus remus* and *Trichogramma chilonis* on *Spodoptera frugiperda* found in the fields of Guangzhou and Hong Kong [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 760–765. [李志刚, 吕欣, 押玉柯, 等. 粤港两地田间发现夜蛾黑卵蜂与螟黄赤眼蜂寄生草地贪夜蛾 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 760–765]
- Lin YZ, Fu SX, Xiong HY, et al. Performance and evaluation of sweet and waxy maize varieties in winter in Hainan [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2017, 5: 73–75. [林尤珍, 符书贤, 熊怀阳, 等. 甜、糯鲜食玉米品种在海南的冬种表现及评价 [J]. 上海农业科技, 2017, 5: 73–75]
- Liu WN, Wan Z, Gan YY, et al. Development situation and countermeasures of Guangdong sweet corn industry in 2015 [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43 (3): 12–16. [刘蔚楠, 万忠, 甘阳英, 等. 2015年广东甜玉米产业发展形势与对策建议 [J]. 广东农业科学, 2016, 43 (3): 12–16]
- Molina-Ochoa J, Carpenter JE, Heinrichs EA, et al. Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin: An inventory [J]. *Florida Entomologist*, 2003, 86 (3): 254–289.
- Murua MG, Molina-Ochoa J, Fidalgo P. Natural distribution of parasitoids of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Argentina [J]. *Journal of Insect Science*, 2009, 9: 20.
- Oliveira de Moraes RF, Toscano LC, Arantes Pereira MF, et al. *Beauveria bassiana* in association with genetically modified maize on *Spodoptera frugiperda* and *Rhopalosiphum maidis* management [J]. *Arquivos do Instituto Biologico Sao Paulo*, 2015, 82: 1–7.
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, et al. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management (First Edition) [M]. México: International Maize and Wheat Improvement Center, 2018: 72–75.
- Qin YJ, Lan S, Zhao ZH, et al. Potential geographical distribution of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 43–47, 60. [秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 等. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 43–47, 60.]
- Rios – Velasco C, Gallegos – Morales G, Cambero – Campos J, et al.

- Natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Coahuila, Mexico [J]. *Florida Entomologist*, 2011a, 94 (3): 723–726.
- Shi CQ. Development process, problem and countermeasure of maize production in China [J]. *China Seed Industry*, 2019, 4: 24–29. [时成俏. 广西玉米生产发展历程、存在问题及对策 [J]. 中国种业, 2019, 4: 24–29]
- Shylesha AN, Jalali SK, Gupta A, et al. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies [J]. *Journal of Biological Control*, 2018, 32 (3): 145–151.
- Su XN, Li CY, Huang SH, et al. Optimization of artificial diet and rearing condition of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (5): 992–998. [苏湘宁, 李传瑛, 黄少华, 等. 草地贪夜蛾人工饲料及饲养条件的优化 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (5): 992–998]
- Su XN, Liao ZX, Li CY, et al. Occurrence dynamics based on sexpheromone trapping and control effect evaluated of multiple combination of biological control factors on *Spodoptera frugiperda* in the field of Guangdong [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (6): 1330–1337. [苏湘宁, 章玉苹, 黄少华, 等. 基于性信息素诱捕的广东草地贪夜蛾发生动态及多生物防治因子组合对其控制效果评价 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (6): 1330–1337]
- Tang P, Wang ZZ, Wu Q, et al. The natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and their application in biological control programs [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (3): 370–381. [唐璞, 王知知, 吴琼, 等. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防治中的应用 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (3): 370–381]
- Tian JC, Wang ZC, Wang GR, et al. Assessment of the flight ability of four *Trichogramma* species and the dispersal of *T. japonicum* in rice field [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (1): 26–31. [田俊策, 王子辰, 王国荣, 等. 四种赤眼蜂的飞行能力和稻螟赤眼蜂的田间扩散能力评价 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33 (1): 26–31. DOI: 10.16409/j.cnki.2095–039x.2017.01.004]
- Tian JC, Lu YH, Wang GR, et al. The parasitic capability of five *Trichogramma* species on eggs of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (4): 485–490. [田俊策, 鲁艳辉, 王国荣, 等. 5种赤眼蜂对草地贪夜蛾卵的寄生能力研究 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (4): 485–490.]
- Wang L, Chen KW, Zhong GH, et al. Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (3): 479–487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (3): 479–487]
- Wu KM. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 1–5. [吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略 [J]. 植物保护, 2020, 46 (2): 1–5]
- Xu RM. Insect Population Ecology [M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 1987: 61–82. [徐汝梅. 昆虫种群生态学 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 61–82]
- Yang JG, Zhao M, Zhu P, et al. Field experiment on controlling *Spodoptera frugiperda* in grassland by *Trichogramma chilonalis* [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (11): 59–61. [杨建国, 赵猛, 朱萍, 等. 螟黄赤眼蜂防治草地贪夜蛾田间试验研究 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (11): 59–61]
- Yang PY, Zhu XM, Guo JF, et al. Strategy and advice for managing the fall armyworm in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (4): 1–6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 等. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议 [J]. 植物保护, 2019, 45 (4): 1–6]
- Yang XL, Liu YC, Luo MZ, et al. *Spodoptera frugiperda* was first discovered in Jiangcheng County, Yunnan Province of China [J]. *Yunnan Agriculture*, 2019, 1: 72. [杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 等. 云南省江城首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾 [J]. 云南农业, 2019, 1: 72]
- Yuan X, Deng WL, Guo Y, et al. An easy rearing method of *Spodoptera frugiperda* and benefit analysis [C]. Plant Protection and Biosafety—Proceedings of 2021 Academic Annual Meeting of China Plant Protection Society, 2021: 65–71. [袁曦, 邓伟丽, 郭义, 等. 一种草地贪夜蛾幼虫分龄饲养方法及效益分析 [C]. 病虫防护与生物安全——中国植物保护学会 2021 年学术年会论文集, 2021: 65–71]
- Yuan X, Zhang BX, Li DS, et al. Laboratory and field evaluation of the possibilities for controlling the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée), by releasing *Trichogramma ostrinae* Pang et Chen in Huang-Huai-Hai summer corn region [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38 (3): 482–487. [袁曦, 张宝鑫, 李敦松, 等. 室内外评价在黄淮海夏玉米区释放玉米螟赤眼蜂防治亚洲玉米螟的可行性 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38 (3): 482–487]
- Zhang QW, Wang LH, Yang SX, et al. Study on effective diffusion distance of *Trichogramma chilonis* in cotton field and its influencing factors [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1998, 41 (S1): 70–77. [张青文, 王立和, 杨淑霞, 等. 螟黄赤眼蜂在棉田的有效扩散距离及其影响因素的研究 [J]. 昆虫学报, 1998, 41 (S1): 70–77]
- Zhou LC, Li J, Zhu XC. Discussion on insect control effect and application technology of *Trichogramma* [J]. *Natural Enemies*, 1983, 5 (3): 150–157. [周丽楚, 李吉, 朱学纯. 赤眼蜂治虫效果与应用技术探讨 [J]. 昆虫天敌, 1983, 5 (3): 150–157]
- Zhu KH, Zhou JC, Zhang ZT, et al. Preliminary evaluation of field competition between *Trichogramma brevis* and *Telenomus remus* in grassland [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 267–271. [朱凯辉, 周金成, 张柱亭, 等. 短管赤眼蜂和夜蛾黑卵蜂防治草地贪夜蛾田间竞争的初步评价 [J]. 植物保护, 2020, 46 (2): 267–271]