

两种赤眼蜂在甜玉米上的不同释放方式对防治亚洲玉米螟效果的影响

张云月¹, 冯梦霞^{1,2}, 王立辉³, 李光雪⁴, 常雪¹, 张强¹, 毛刚¹, 高月波¹,
周淑香¹, 张国红¹, 李丽娟¹, 孙崑¹, 史旭曾¹, 汪洋洲¹, 国帝⁵, 李国兴³

(1. 吉林省农业科学院植物保护研究所, 吉林 公主岭 136100; 2. 吉林农业大学植物保护学院, 长春 130118; 3. 镇赉县农业技术推广中心, 白城 镇赉 137300; 4. 公主岭吉农绿色农业高新科技发展有限公司, 吉林 公主岭 136100; 5. 吉林省农业广播电视学校, 长春 130021)

摘 要: 为评价玉米植株上不同放蜂位置对两种赤眼蜂防治玉米螟效果的影响, 采用盆栽控制试验, 分别设置玉米心叶内、盆栽土壤表面及玉米叶片背部3个接蜂点, 每点分别单独、混合释放两种赤眼蜂, 研究同一蜂种不同释放方式对玉米螟的控害效果。结果表明, 在同一位置接蜂, 单独接玉米螟赤眼蜂和混合接蜂在卵块寄生率、卵粒寄生率、玉米螟卵中的总出蜂数等指标均高于单独接松毛虫赤眼蜂。当接入蜂种相同而位置不同时, 在心叶内接蜂玉米螟卵粒寄生率最高, 玉米螟赤眼蜂在心叶内接蜂的蜂卡羽化率高于土壤表面和叶片背部接蜂; 松毛虫赤眼蜂在3个位置上差异不显著。在玉米心叶内单独释放玉米螟赤眼蜂或者混合释放赤眼蜂对玉米螟的防治效果最好。

关键词: 甜玉米; 松毛虫赤眼蜂; 玉米螟赤眼蜂; 亚洲玉米螟

中图分类号: S435.132

文献标识码: A

Control Effect of Releasing Methods on *Ostrinia furnacalis* with Two Species of *Trichogramma* on Sweet Maize

ZHANG Yun-yue¹, FENG Meng-xia^{1,2}, WANG Li-hui³, LI Guang-xue⁴, CHANG Xue¹, ZHANG Qiang¹,
MAO Gang¹, GAO Yue-bo¹, ZHOU Shu-xiang¹, ZHANG Guo-hong¹, LI Li-juan¹, SUN Wei¹,
SHI Xu-zeng¹, WANG Yang-zhou¹, GUO Di⁵, LI Guo-xing³

(1. Institute of Plant Protection, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; 2. College Plant Protection, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 3. Zhenglai Agricultural Technology Extension Station, Zhenlai 137300; 4. Gongzhuling Jinong Green Agriculture Hi-Tech Development Co., Ltd., Gongzhuling 136100; 5. Academy of Jilin Agricultural Radio and Television, Zhenlai 137300, China)

Abstract: *Trichogramma dendrolimi* by mass production was popularly applied to control Asian maize borer, *Ostrinia furnacalis*. Different releasing methods of the same *Trichogramma* species affect the control efficacy to *O. furnacalis*. Experiments were conducted to evaluate the control effects of the two *Trichogramma* species on *O. furnacalis* on different positions, in whorl, on soil surface and the back of leaves. Treatments with releasing *T. ostrinae* and combined releasing method of the two *Trichogramma* species could increase parasitism rate of egg masses, parasitism rate of eggs of *O. furnacalis* and total number of offspring compared to release *T. dendrolimi* when the wasps were released in the same position. Treatments with releasing wasps in whorl of maize had the higher parasitism rate of eggs of *O. furnacalis* than other treatments in terms of the same species of *Trichogramma*. Emergence rate of *T. ostrinae* in wasp cards in whorl of maize was higher than other positions, but emergence rate of *T. dendrolimi* in wasp cards was not significantly different among all the three positions. Conclusion exhibit that only releasing *T. ostrinae* or combined wasp card of *T. dendrolimid* and *T. ostrinae* in whorl of maize can obtain the most efficacy to control *O. furnacalis*.

Key words: Sweet maize; *Trichogramma dendrolimi*; *Trichogramma ostrinae*; *Ostrinia furnacalis*

录用日期: 2022-01-18

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(202007022048NC)、吉林省农业科学院基本科研经费项目(KYJF2021JQ006)

作者简介: 张云月(1985-), 硕士, 助理研究员, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: hettyzyy@163.com

汪洋洲为本文通讯作者。

赤眼蜂 *Trichogramma* 属膜翅目 Hymenoptera、赤眼蜂科 Trichogrammatidae、赤眼蜂属 *Trichogramma*，是一类鳞翅目害虫的卵期寄生性天敌^[1]。利用天敌昆虫防治农业害虫是生物防治技术的主要方式之一^[2]。因赤眼蜂应用范围广、防治面积大、防效好等优点，被广泛应用于防治玉米、水稻、甘蔗、棉花、果树、林木等多种农林害虫^[3-5]。在我国寄生亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 卵的赤眼蜂有 12 种^[6]，生产上广泛应用的主要有玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae*、松毛虫赤眼蜂 *T. dendrolimi* 和螟黄赤眼蜂 *T. chilonis*^[7,8]，其中松毛虫赤眼蜂是工厂化生产防治亚洲玉米螟的优势蜂种，玉米螟赤眼蜂是亚洲玉米螟卵优势寄主^[7]。研究发现，玉米螟赤眼蜂的综合防治效果优于松毛虫赤眼蜂和螟黄赤眼蜂^[9]。

利用赤眼蜂防治农林害虫主要有两种释放方式，即传统人工释放及现代化机械作业释放。传统方法释放赤眼蜂防治玉米螟通常是依靠人力将蜂卡固定在玉米叶片背部或将装有寄生蜂卵的放蜂器悬挂在植株叶片上^[10-12]。现代化机械作业主要应用无人机结合放蜂器或将赤眼蜂与不同介质混合进行高空投放，应用该方法释放的赤眼蜂可降落在玉米植株不同部位上，如玉米心叶、植株叶片表面或土壤表面等^[13-15]。有研究认为，赤眼蜂对生境的特异性较寄主昆虫更强，在同一寄主植物的不同部位对寄主昆虫的防治效果有所差异^[16,17]。李姝^[18]等研究不同释放高度对稻螟赤眼蜂防控稻纵卷叶螟和二化螟效果的影响，发现不同放蜂高度对稻纵卷叶螟防治效果影响显著，而对二化螟的防治效果影响不显著。

不同种类赤眼蜂可能会寄生同一种寄主昆虫，因此有学者针对不同蜂种或品系防治同一种害虫的控害效果进行研究。在水稻上利用稻螟赤眼蜂、螟黄赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂三种赤眼蜂混合释放防治水稻二化螟，取得了较好的防治效果^[19-21]，不同蜂种的混合释放在玉米上对亚洲玉米螟的防治应用较少，特别是在甜玉米中。目前对赤眼蜂防治农林害虫效果的研究，主要是针对不同蜂种单独或混合释放，或者同一蜂种在不同位置进行释放防治靶标害虫，蜂种和位置的联合作用对防治效果影响的研究较少。本文在温室条件下，研究不同接蜂位置、不同赤眼蜂种类对玉米螟的防治效果，为赤眼蜂防治玉米螟的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

松毛虫赤眼蜂以剖腹柞蚕卵为繁殖寄主，由公

主岭吉农绿色农业高新科技发展有限公司提供；玉米螟赤眼蜂以米蛾卵为繁殖寄主，由吉林省农业科学院植物保护研究所提供。2 种赤眼蜂在 25℃、相对湿度 80% 的环境条件下繁育多代。玉米螟由吉林省农业科学院植物保护研究所室内人工繁殖(饲养条件：温度 26℃、相对湿度 60%~80%、光周期 16L:8D)。玉米品种为吉优甜玉米。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

根据释放赤眼蜂时中间寄主卵的降落位置，本研究分别在玉米心叶、盆栽土壤表面以及玉米叶片背部 3 个不同位置接入赤眼蜂，每个位置分别单独接松毛虫赤眼蜂、单独接玉米螟赤眼蜂以及混合接两种赤眼蜂共 9 个处理，每个处理 8 次重复。玉米盆栽在温室内随机摆放。

1.2.2 种子前处理及移栽

将玉米种子用清水浸泡 16 h 后取出用湿毛巾包裹，置于 26℃ 恒温培养箱中进行催芽。36~48 h 后取出发芽的玉米种子，将其播种在花盆中(直径 23.5 cm×高 19 cm)，每盆装营养土 2.5 kg，施加复合肥 2.5 g，肥料终浓度为 0.1%。每盆播种 3 粒玉米种子。将花盆置于温室中(白天 25℃±2℃，夜间 20℃±2℃，相对湿度 50%，光周期 12L:12D)。待出苗后间苗，留下 1 株长势健壮的植株。每个处理播种 8 盆，作为 8 次重复。

1.2.3 网室接卵及赤眼蜂的释放

当玉米植株长至第 11~12 叶时，去除植株上的自然落卵，每株玉米用 100 目的尼龙纱网罩(长×宽×高=75 cm×30 cm×140 cm)罩住。每个网室内于傍晚分别放置 3 对玉米螟成虫进行产卵，24 h 后取下网罩检查产卵情况。每株玉米保留 3 块卵块，玉米螟卵块的卵粒数不等，所选卵块含卵粒大约为 25~60 粒，以 30~40 粒为主，然后罩上网罩。在玉米心叶、盆栽土壤表面以及玉米叶片背部 3 个位置中，每个位置分别单独接入 4 粒被松毛虫赤眼蜂寄生的柞蚕卵蜂卡，单独接入约 240 粒被玉米螟赤眼蜂寄生的米蛾卵蜂卡，混合接入 2 粒被松毛虫赤眼蜂寄生的柞蚕卵蜂卡和约 120 粒被玉米螟赤眼蜂寄生的米蛾卵蜂卡。

1.2.4 赤眼蜂在中间寄主卵中的羽化情况

温室内接蜂 3 d 后，取下网罩，取回蜂卡。在实验室内利用昆虫体视镜观察并记录柞蚕卵和米蛾中赤眼蜂的出蜂卵粒数、被寄生卵粒数，计算赤眼蜂的羽化率。取回供试的玉米螟卵块，放入 1.5 mL 离心管中。每管放入 1 块卵块，用湿润的棉球封住管口，

后置于恒温培养箱(25℃,相对湿度 80%)中黑暗培养。待赤眼蜂羽化出蜂并完全死亡后,记录被赤眼蜂寄生的玉米螟卵块数、被寄生卵粒数、出蜂卵粒数、出蜂数,计算卵块寄生率、卵粒寄生率以及赤眼蜂在玉米螟卵中羽化率、单卵出蜂数。计算公式如下:

羽化率=出蜂卵粒数/被寄生卵粒数×100%;
卵块寄生率=被寄生卵块数/接卵总数×100%;
卵粒寄生率=被寄生卵粒数/总卵粒数×100%;
单卵出蜂数=出蜂数/出蜂卵粒数。

1.3 数据处理与分析

计算所获得数据的平均值,利用 DPS 软件进行统计分析。应用单因素完全随机和双因素有重复完全随机进行方差分析。多重比较采用邓肯氏新复极

差法(Duncan's),其中柞蚕卵中松毛虫赤眼蜂羽化率进行反正弦平方根转换后再进行方差分析,其他数据不转换。

2 结果与分析

2.1 不同处理组蜂卡中赤眼蜂羽化率比较

通过分析发现(表 1),不同接蜂位置柞蚕卵中松毛虫赤眼蜂羽化率为 92.19%~96.88%,差异不显著;位置相同时,单独接蜂和混合接蜂处理中松毛虫赤眼蜂的羽化率差异不显著。从接蜂种类上看,混合接两种赤眼蜂时,松毛虫赤眼蜂在柞蚕卵中的羽化率显著大于单独接蜂处理组($F_{1,46}=4.098$, $p=0.048$);接蜂种类相同接蜂位置不同时,松毛虫赤眼蜂的羽化率差异均不显著。

表 1 不同处理组赤眼蜂在蜂卡中的羽化率
Table 1 Emergence rate of *Trichogramma* in wasp cards among different treatments %

接蜂位置 Releasing position	接蜂种类 Releasing species	赤眼蜂羽化率 Emergence rate	
		松毛虫赤眼蜂 <i>T. dendrolimi</i>	玉米螟赤眼蜂 <i>T. ostriniae</i>
心叶	TD	93.75 ± 4.09 A a	—
	TO	—	96.75 ± 0.67 A a
	TD+TO	100.00 ± 0.00 A a	97.86 ± 0.64 A a
土壤表面	TD	90.63 ± 4.57 A a	—
	TO	—	90.96 ± 2.25 A b
	TD+TO	93.75 ± 6.25 A a	86.55 ± 1.33 A b
叶片背部	TD	87.50 ± 6.68 A a	—
	TO	—	86.65 ± 1.33 A b
	TD+TO	100.00 ± 6.68 A a	81.97 ± 4.32 A b

注:TD 表示松毛虫赤眼蜂,TO 表示玉米螟赤眼蜂。表中数据为平均值±标准误。不同大写字母代表相同位置不同接蜂种类处理间差异显著($p<0.05$),不同小写字母代表相同接蜂种类不同位置处理间差异显著($p<0.05$)。下表、下图同。

Note: TD indicates *T. dendrolimi*; TO denotes *T. ostriniae*. Mean(±SE) with different upper-case letters indicate significant difference among different treatments which release different *Trichogramma* species in the same position($p<0.05$). Different lower-case letters indicate significant difference among different treatments which release same *Trichogramma* species in different position($p<0.05$).

不同接蜂位置米蛾卵中玉米螟赤眼蜂羽化率差异显著($F_{2,45}=18.002$, $p=0$),心叶接蜂处理的羽化率最高(97.31%),而后依次为土壤表面、叶片背部处理的羽化率。在玉米植株的相同位置上,单独接蜂和混合接蜂处理中玉米螟赤眼蜂羽化率不具显著性差异。从接蜂种类上看,单独接玉米螟赤眼蜂处理和混合接蜂处理的玉米螟赤眼蜂羽化率差异不显著;相同接蜂种类不同接蜂位置的羽化率显著不同,无论是单独还是混合接蜂,心叶处理组玉米螟赤眼蜂羽化率均显著高于土壤表面和叶片背部接蜂处理组的羽化率(单独接蜂 $F_{1,14}=6.062$, $p=0.027$ 4, $F_{1,14}=46.175$, $p=0$;混合接蜂 $F_{1,14}=59.027$, $p=0$ 、 $F_{1,14}=13.245$,

$p=0.002$ 7)。
双因素方差分析表明,接蜂位置对柞蚕卵中松毛虫赤眼蜂的羽化率影响不显著,且对米蛾卵中玉米螟赤眼蜂的羽化率有显著影响($F_{2,1,2}=18.620$, $p=0$);接蜂种类对松毛虫赤眼蜂的羽化率有显著影响($F_{2,1,2}=5.318$, $p=0.026$ 1),对玉米螟赤眼蜂羽化率影响不显著。接蜂位置和接蜂种类之间的交互作用对两种赤眼蜂的羽化率的影响均不显著。

2.2 不同处理组赤眼蜂对玉米螟卵的防治效果分析

图 1 显示了不同处理组赤眼蜂的卵块寄生率。从不同位置赤眼蜂的卵块寄生率差异不显著;在土

壤表面或在叶片背部接入不同蜂种各处理组赤眼蜂的卵块寄生率差异不显著,在玉米心叶中单独接玉米螟赤眼蜂处理的卵块寄生率显著高于单独接松毛虫赤眼蜂($F_{1,14}=9.000, p=0.0096$)。从接蜂种类看,不同种类赤眼蜂的卵块寄生率显著不同($F_{2,69}=4.743, p=0.0117$),寄生率由高到低依次为单独接玉米螟赤眼蜂处理、混合接蜂处理、单独接松毛虫赤眼蜂处理;单独接入松毛虫赤眼蜂或混合接蜂时,不同接蜂位置卵块寄生率差异不显著;单独接入玉米螟赤眼蜂时心叶接蜂组的卵块寄生率显著高于叶片背部接蜂组($F_{1,14}=7.000, p=0.0192$)。

赤眼蜂的卵粒寄生率方面,考虑接蜂位置因素,不同接蜂位置的卵粒寄生率差异不显著;在玉米心叶中,混合接蜂组的卵粒寄生率显著大于单独接松毛虫赤眼蜂组($F_{1,46}=6.911, p=0.0116$);在土壤表面接入不同蜂种时,各处理组赤眼蜂的卵粒寄生率差异

不显著;在玉米叶片背部,单独接玉米螟赤眼蜂组的卵粒寄生率显著高于单独接松毛虫赤眼蜂组($F_{1,46}=4.513, p=0.0390$)。考虑接蜂种类因素,卵粒寄生率依次为单独接入玉米螟赤眼蜂>混合接蜂>单独接入松毛虫赤眼蜂,各处理间差异显著($F_{2,213}=7.141, p=0.0010$);单独接松毛虫赤眼蜂或单独接玉米螟赤眼蜂时,接蜂位置不同,各处理组的卵粒寄生率差异不显著;混合接蜂时,心叶处理组的卵粒寄生率明显高于土壤表面组和叶片背部组($F_{1,46}=4.824, p=0.0332$; $F_{1,46}=4.177, p=0.0467$)。

双因素方差分析表明,接蜂种类显著影响赤眼蜂对玉米螟卵的寄生情况(卵块寄生率 $F_{2,2,4}=4.590, p=0.0138$; 卵粒寄生率 $F_{2,2,4}=7.138, p=0.0010$),接蜂位置对其影响不显著。接蜂位置和接蜂种类两个因素对赤眼蜂的寄生情况无明显的交互作用。

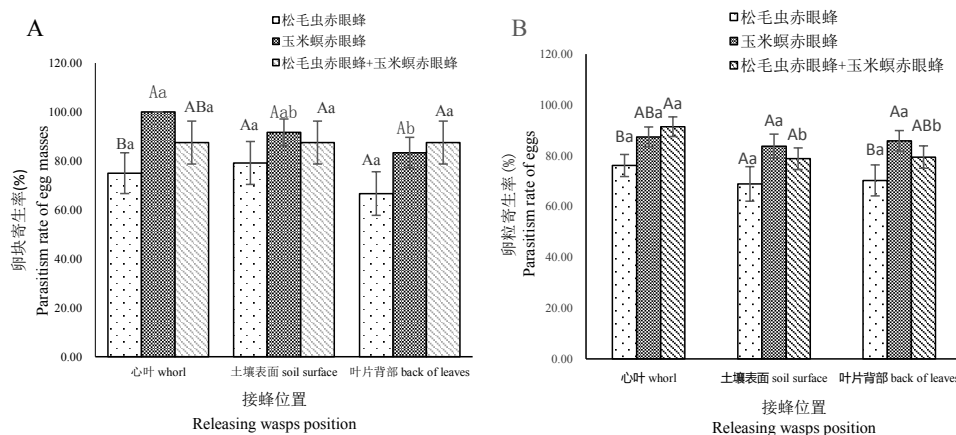


图1 不同处理组赤眼蜂寄生亚洲玉米螟的卵块寄生率、卵粒寄生率

Fig.1 Parasitism rate of *Trichogramma* to *Ostrinia furnacalis* egg masses and eggs among different treatments

2.3 玉米螟寄生卵中不同处理组赤眼蜂羽化及出蜂情况

2.3.1 羽化率分析

对赤眼蜂在玉米螟寄生卵中的羽化率进行分析(表2),从接蜂位置上看,不同位置羽化率差异显著($F_{2,213}=4.229, p=0.0158$),其中心叶接蜂组羽化率显著高于叶片背部接蜂组;当在相同位置接入不同蜂种时,在心叶内或土壤表面,不同接蜂种类处理组的羽化率差异不显著;在叶片背部,单独接入松毛虫赤眼蜂处理组的羽化率显著低于单独接玉米螟赤眼蜂处理组或混合接蜂组($F_{1,46}=9.214, p=0.0039$; $F_{1,46}=4.117, p=0.0483$)。从接蜂种类上看,不同接蜂种类赤眼蜂在玉米螟寄生卵中的羽化率为60.41%~67.12%,差异显著($F_{2,213}=3.075, p=0.0483$),羽化率由高到低依次为单独接玉米螟赤眼蜂处理、单独接松

毛虫赤眼处理、混合接蜂处理;当接蜂种类相同但位置不同时,单独接松毛虫赤眼蜂,心叶或土壤表面接蜂处理的羽化率均显著大于叶片背部接蜂处理($F_{1,46}=8.801, p=0.0048$; $F_{1,46}=7.745, p=0.0078$);单独接入玉米螟赤眼蜂或混合接蜂在不同位置的羽化率差异均不显著。双因素方差分析表明,赤眼蜂在玉米螟寄生卵中羽化率分别受接蜂位置和接蜂种类的显著影响(接蜂位置 $F_{2,2,4}=4.428, p=0.0131$; 接蜂种类 $F_{2,2,4}=3.253, p=0.0406$),二者间的交互作用对羽化率的影响差异不显著。

2.3.2 总出蜂数量分析

统计不同处理组赤眼蜂在玉米螟卵中羽化出来的总出蜂数量,取8次重复平均值。经分析发现(表2),不同接蜂位置总出蜂数差异不显著;在玉米心叶中,混合接蜂处理组的总出蜂数最多,与总出蜂数最

少的单独接松毛虫赤眼蜂组相比差异显著($F_{1,46}=7.491, p=0.008\ 8$);在土壤表面接蜂,单独接玉米螟赤眼蜂组的总出蜂数最多,与总出蜂数最低的处理组(单独接松毛虫赤眼蜂)相比差异显著($F_{1,46}=4.663, p=0.036\ 1$);在玉米叶片背部接蜂,单独接入松毛虫赤眼蜂处理组的总出蜂数显著低于单独接玉米螟赤眼蜂处理组和混合接蜂组($F_{1,46}=8.306, p=0.006$; $F_{1,46}=5.278, p=0.026\ 2$)。不同接蜂种类赤眼蜂在玉米螟寄生卵中的总出蜂数由多到少依次为单独接玉米螟赤眼蜂组、混合接蜂组、单独接松毛虫赤眼蜂组,各

组间差异极显著($F_{2,213}=7.879, p=0.000\ 5$)。单独接松毛虫赤眼蜂或单独接玉米螟赤眼蜂时,不同接蜂位置总出蜂数差异不显著;混合接蜂时,心叶组总出蜂数显著多于土壤表面接蜂组($F_{1,46}=5.065, p=0.029\ 2$)。双因素方差分析表明,接蜂位置对玉米螟寄生卵中赤眼蜂的总出蜂数影响不显著,而接蜂种类对总出蜂数的影响极为显著($F_{2,2,4}=7.914, p=0.000\ 5$),接蜂位置和接蜂种类两个因素对赤眼蜂总出蜂数无明显的交互作用。

表2 玉米螟寄生卵中赤眼蜂羽化率、总出蜂数及单卵出蜂数
Table 2 Emergence rate, total number of offspring and number of offspring per parasitized egg on *O. furnacalis* egg among different treatments

接蜂位置 Releasing position	接蜂种类 Releasing species	羽化率(%) Emergence rate	总出蜂数(头) Total number of offspring	单卵出蜂数(头) Number of offspring per parasitized egg
心叶	TD	66.03 ± 3.77 A a	28.50 ± 3.31 B a	1.55 ± 0.08 B a
	TO	68.04 ± 3.96 A a	38.83 ± 4.13 AB a	1.92 ± 0.11 A a
	TD + TO	63.40 ± 2.40 A a	47.83 ± 6.24 A a	1.85 ± 0.12 A a
土壤表面	TD	67.31 ± 5.00 A a	28.75 ± 4.88 B a	1.50 ± 0.12 B a
	TO	68.66 ± 2.66 A a	42.75 ± 5.60 A a	1.82 ± 0.10 AB a
	TD + TO	58.10 ± 3.59 A a	31.54 ± 3.67 AB b	1.96 ± 0.13 A a
叶片背部	TD	48.40 ± 4.60 B b	23.38 ± 3.62 B a	1.90 ± 0.21 A a
	TO	64.64 ± 2.75 A a	42.75 ± 5.66 A a	1.77 ± 0.10 A a
	TD + TO	59.74 ± 3.45 A a	38.46 ± 5.48 A ab	2.17 ± 0.15 A a

2.3.3 单卵出蜂数分析

从表2分析结果可知,不同接蜂位置赤眼蜂在玉米螟寄生卵中单卵出蜂数差异不显著;在叶片背部,不同接蜂种类的单卵出蜂数差异不显著;在玉米心叶中单独接玉米螟赤眼蜂处理组和混合接蜂组的单卵出蜂数均显著多于单独接松毛虫赤眼蜂组($F_{1,46}=7.288, p=0.0097$; $F_{1,46}=4.305, p=0.043\ 6$);在土壤表面混合接蜂组的单卵出蜂数显著多于单独接松毛虫赤眼蜂组($F_{1,46}=6.414, p=0.014\ 8$)。考虑接蜂种类,不同种类赤眼蜂在玉米螟寄生卵中的单卵出蜂数差异显著($F_{2,213}=5.212, p=0.006\ 2$),单卵出蜂数依次为混合接蜂组>单独接玉米螟赤眼蜂组>单独接松毛虫赤眼蜂组;当接蜂种类相同且接蜂位置不同时,各处理的单卵出蜂数差异均不显著。对玉米螟寄生卵中赤眼蜂单卵出蜂数进行双因素方差分析表明,位置对其影响不显著,而接蜂种类对其影响极显著($F_{2,2,4}=5.301, p=0.005\ 7$),接蜂位置和接蜂种类间的交互作用对单卵出蜂数的影响差异不显著。

2.3.4 各赤眼蜂种类出蜂数比较

混合接蜂时(表3),无论在玉米植株的哪个部位

玉米螟赤眼蜂在玉米螟寄生卵中的出蜂数显著高于松毛虫赤眼蜂的出蜂数(心叶 $F_{1,46}=23.229, p=0$; 土壤表面 $F_{1,46}=6.531, p=0.014\ 0$; 叶片背部: $F_{1,46}=15.356, p=0.000\ 3$)。与单独接蜂相比,混合接蜂时,松毛虫赤眼蜂在玉米螟寄生卵中出蜂数量显著降低,与位置无关(心叶 $F_{1,46}=21.715, p=0$; 土壤表面 $F_{1,46}=9.921, p=0.002\ 9$; 叶片背部 $F_{1,46}=12.81\ 0, p=0.000\ 8$);玉米螟赤眼蜂的出蜂数量在不同部位表现不同,在心叶中或叶片背部混合接蜂组的出蜂数与单独接蜂处理相比差异不显著,在土壤表面混合接蜂处理的出蜂数却显著低于单独接蜂组($F_{1,46}=12.838, p=0.000\ 8$)。

3 讨论

利用赤眼蜂对农林害虫进行生物防治,不同放蜂方式包括不同的释放位置及不同的释放种类等都会对目标害虫的防治效果产生一定程度的影响^[18~21]。本研究发现,不同接蜂方式对蜂卡中赤眼蜂的羽化率、羽化后成蜂对亚洲玉米螟卵的寄生水平以及赤眼蜂在玉米螟寄生卵中的羽化率及出蜂量有一定程度影响,影响程度因蜂种而不同。

表3 不同赤眼蜂种类在玉米螟卵中的出蜂数
Table 3 Offspring numbers of two *Trichogramma* species on *O. furnacalis* eggs

接蜂位置 Releasing position	接蜂种类 Releasing species	出蜂数(头) Number of offspring	
		松毛虫赤眼蜂 <i>T. dendrolimi</i>	玉米螟赤眼蜂 <i>T. ostriniae</i>
心叶	TD	28.50 ± 3.31 a	—
	TO	—	38.82 ± 4.13 a
	TD + TO	7.71 ± 2.99 B b	40.13 ± 6.03 A a
土壤表面	TD	28.75 ± 4.88 a	—
	TO	—	42.75 ± 5.60 a
	TD+TO	10.83 ± 2.92 B b	20.71 ± 2.54 A b
叶片背部	TD	23.38 ± 3.62 a	—
	TO	—	42.75 ± 5.66 a
	TD + TO	8.17 ± 2.22 B b	30.29 ± 5.19 A b

赤眼蜂在蜂卡中的羽化率会影响田间防治效果,不同放蜂位置会对赤眼蜂的羽化率产生影响。本研究比较了不同位置单独或者混合放蜂蜂卡中赤眼蜂的羽化率,结果发现,无论是单独接蜂还是混合接蜂,米蛾卵中玉米螟赤眼蜂在心叶中的羽化率显著高于其他位置,表明心叶是玉米螟赤眼蜂的最佳释放位置,这可能是因为心叶卷曲构型能够提高心叶内的相对湿度^[22],使心叶内的环境更适合玉米螟赤眼蜂的生长发育,从而有利于蜂卡中玉米螟赤眼蜂的羽化。柞蚕卵中松毛虫赤眼蜂在各个位置的羽化率差异不显著,可能是由于柞蚕卵卵壳较厚^[23],所释放赤眼蜂大多处于待羽化期^[24],感受外界环境因子影响时间较短,因此外界环境的微小差异对松毛虫赤眼蜂的生长发育影响较小。

赤眼蜂对生境的敏感性强于寄主昆虫,同一植株上不同位置其对靶标害虫的寄生率表现不同。Wang^[25]等利用玉米螟赤眼蜂防治甜玉米田中的欧洲玉米螟,发现在玉米植株中部及下部叶片上玉米螟赤眼蜂对欧洲玉米螟卵的寄生率显著高于植株上部叶片的寄生率。本试验在玉米植株不同位置接入同一种赤眼蜂,发现在心叶中接蜂处理的卵粒寄生率最高,表明玉米心叶的微环境对赤眼蜂的寄生能力有一定程度正向影响。在心叶中接蜂的作用类似于利用放蜂器释放赤眼蜂,为赤眼蜂的发育提供优良环境;在叶片背部接蜂与传统的人工放蜂模式相同,表明将蜂卵直接投在心叶中或者利用放蜂器放蜂的方法优于人工别卵的方式。

在玉米植株同一位置上接入不同蜂种,混合接蜂处理的卵块寄生率及卵粒寄生率与单独接玉米螟赤眼蜂处理的卵块寄生率及卵粒寄生率相似,显著

高于单独接松毛虫赤眼蜂处理。由于防治对象以及应用的蜂种不同,在考虑经济成本的前提下混合放蜂可代替单独释放玉米螟赤眼蜂防治玉米螟。

子代出蜂数的增多有利于提升天敌释放后的持续性控害能力^[26]。本文对寄生玉米螟卵的赤眼蜂存活情况进行评估,发现在心叶中接蜂的羽化率及总出蜂数最高。混合放蜂时玉米螟卵中赤眼蜂羽化率降低,出蜂数高于单独接松毛虫赤眼蜂处理,且其单卵出蜂数最多,表明在玉米心叶位置上接蜂或者混合释放不同蜂种都有可能提高赤眼蜂对玉米螟的控害能力。混合接蜂时,比较两种赤眼蜂的出蜂数量发现,无论在玉米植株的哪个位置,玉米螟赤眼蜂出蜂数明显多于松毛虫赤眼蜂,表明两种赤眼蜂存在种间竞争,且玉米螟赤眼蜂是亚洲玉米螟卵的优势寄主。与单独接蜂相比,混合放蜂时,在同一位置松毛虫赤眼蜂在玉米螟卵中的出蜂数明显减少,而玉米螟赤眼蜂出蜂数在土壤表面和叶片背部接蜂时明显减少,在心叶中略微增加,说明混合放蜂可能会抑制两种赤眼蜂的羽化出蜂能力,在心叶中玉米螟赤眼蜂的羽化出蜂能力不受影响。两种赤眼蜂存在种间竞争,在玉米心叶微环境条件中优势寄主的数量增加,有利于提高赤眼蜂对害虫的防治^[27]。

本研究在温室条件下比较不同放蜂位置 and 不同接蜂种类对赤眼蜂防治玉米螟效果的影响。结果表明,在玉米心叶中释放赤眼蜂的防治效果最好,因此应当开发出一种新的放蜂方法将赤眼蜂尽量投放到心叶中以提高防效。另外,混合放蜂的防治效果优于单独释放松毛虫赤眼蜂防治玉米螟,但考虑经济成本在普通玉米田中仍然单独使用松毛虫赤眼蜂。甜玉米的情况与普通玉米不同,甜玉米的经济

效益要高于普通玉米1倍左右^[28]。利用混合放蜂的方式防治玉米螟增加防治成本,这种绿色防控模式会减少农药残留、提升食品安全性,进而提高了甜玉米品质,从而提高了经济收益。本研究为赤眼蜂在甜玉米田中防治亚洲玉米螟的释放技术提供了科学依据,由于田间环境开放,影响因素较多,进行田间应用还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 时敏,唐璞,王知知,等.中国寄生蜂研究及其在害虫生物防治中的应用[J].应用昆虫学报,2020,57(3):491-548.
Shi M, Tang P, Wang Z Z, et al. Review of research on parasitoids and their use in biological control in China[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2020, 57(3): 491-548. (in Chinese)
- [2] 陈学新,冯明光,姜永根,等.农业害虫生物防治基础研究进展与展望[J].中国科学基金,2017,31(6):577-585.
Chen X X, Feng M G, Lou Y G, et al. Recent developments and perspective in basic researches on biological control of agricultural insect pest[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2017, 31(6): 577-585. (in Chinese)
- [3] Razing J, Vasileiadis V P, Giraud M, et al. On farm evaluation of inundative biological control of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) by *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in three European maize producing regions[J]. Pest Management Science, 2016, 72(2): 246-254.
- [4] Babendreier D, Hou M, Tang R, et al. Biological control of lepidopteran pests in rice: A multi-nation case study from Asia[J]. Journal of Integrated Pest Management, 2020, 11(1): 5.
- [5] Sayed S M, Mahmoud S F, Elzahrany O M, et al. Efficacy of *Bacillus thuringiensis* and indigenous *Trichogramma turkistanica* for controlling lepidopterous pests on Taify pomegranate fruits[J]. African Entomology, 2015, 23(2): 443-450.
- [6] Wang Z Y, He K L, Zhang F, et al. Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China[J]. Biological Control, 2014, 68: 136-144.
- [7] 张荆,王金玲,丛斌,等.我国亚洲玉米螟赤眼蜂种类及优势种的调查研究[J].生物防治通报,1990,6(2):49-53.
Zhang J, Wang J L, Cong B, et al. A faunal study of *Trichogramma* [HYM: Trichogrammatidae] species on *Ostrinia furnacalis* [LEP.: Pyralidae] in China[J]. Chinese Journal of Biological Control, 1990, 6(2): 49-53. (in Chinese)
- [8] 刘树生 施祖华.赤眼蜂研究和应用进展[J].中国生物防治,1996,12(2):78-84.
Liu S S, Shi Z H. Recent developments in research and utilization of *Trichogramma* spp.[J]. Chinese Journal of Biological Control, 1996, 12(2): 78-84. (in Chinese)
- [9] 王连霞,李敦松,罗宝君,等.释放不同种类赤眼蜂对亚洲玉米螟的防治效果比较[J].应用昆虫学报,2019,56(2):214-219.
Wang L X, Li D S, Luo B J, et al. The effectiveness of releasing different *Trichogramma* species to control the Asian corn borer[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2019, 56(2): 214-219. (in Chinese)
- [10] 刘佐政,崔永余,万邦英,等.榆树县应用松毛虫赤眼蜂防治玉米螟的效果[J].生物防治通报,1990(4):148-150.
Liu Z Z, Cui Y Y, Wang B Y, et al. An evaluation of the efficacy of large scale releasing *Trichogramma dendrolimi* against Asian corn borer in Yushu county[J]. Chinese Journal of Biological Control, 1990(4): 148-150. (in Chinese)
- [11] 孙光芝,阮长春,张俊杰.赤眼蜂盒式放蜂器[P].吉林:CN2930274,2007-08-08.
- [12] 鲁新,毛刚,冯大泉,等.一种球状双层结构的赤眼蜂释放器[P].吉林:CN206686957U,2017-12-01.
- [13] 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 D S, Yuan X, Zhang B X, et al. Report of Using Unmanned Aerial Vehicle to Release *Trichogramma*[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2013, 29(3): 455-458. (in Chinese)
- [14] Zhan Y, Chen S, Wang G, et al. Biological control technology and application based on agricultural unmanned aerial vehicle(UAV) intelligent delivery of insect natural enemies(*Trichogramma*) carrier[J]. Pest Management Science, 2021, 77(7): 3259-3272.
- [15] Martel V, Johns R C, Jochems-Tanguay L, et al. The use of UAS to release the egg parasitoid *Trichogramma* spp.(Hymenoptera: Trichogrammatidae) against an agricultural and a forest pest in Canada[J]. Journal of Economic Entomology, 2021.
- [16] Sithanatham S, Abera T H, Baumgärtner J, et al. Egg parasitoids for augmentative biological control of lepidopteran vegetable pests in Africa: research status and needs[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2001, 21(3): 189-205.
- [17] Romeis J, Babendreier D, Wäckers F L, et al. Habitat and plant specificity of *Trichogramma* egg parasitoids underlying mechanisms and implications[J]. Basic and Applied Ecology, 2005, 6(3): 215-236.
- [18] 李姝,庄家祥,杭德龙,等.不同释放密度和高度对稻螟赤眼蜂防控两种水稻螟虫效果的影响[J].环境昆虫学报,2020,42(2):294-298.
Li S, Zhang J X, Hang D L, et al. Releasing density and height on control effect of *Trichogramma japonicum* on rice borers in paddy field[J]. Journal of Environmental Entomology, 2020, 42(2): 294-298. (in Chinese)
- [19] 张俊杰,阮长春,臧连生,等.我国赤眼蜂工厂化繁育技术改进及防治农业害虫应用现状[J].中国生物防治学报,2015,31(5):638-646.
Zhang J J, Ruan C C, Zang L S, et al. Technological improvements for mass production of *Trichogramma* and Current Status of their applications for biological control on agricultural pests in China[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2015, 31(5): 638-646. (in Chinese)
- [20] 李丽娟,周淑香,常雪,等.高效寄生水稻二化螟卵的赤眼蜂品系筛选[J].东北农业科学,2019,44(2):19-22.
Li L J, Zhou S X, Chang X, et al. Screening of *Trichogramma* strains with high efficiency parasitism to the eggs of *Chilo suppressalis*[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2019, 44(2): 19-22. (in Chinese)
- [21] 杜文梅,林英,臧连生,等.稻螟赤眼蜂与二种赤眼蜂对水稻二化螟卵寄生竞争作用[J].环境昆虫学报,2016,38(3):488-

- 493 .
- Du W M, Lin Y, Zang L S, et al. Interspecific interference of *Trichogramma japonicum* with other two *Trichogramma* species on eggs of the rice stripped stem borer, *Chilo suppressalis*(Walker)[J]. Journal of Environmental Entomology, 2016, 38(3): 488–493. (in Chinese)
- [22] Flitters N E. Micro electro thermometer for psychrometric determinations of insect leaf microhabitats[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1968, 61(4): 923–926.
- [23] 夏邦颖,王敏慧. 柞蚕卵壳的结构及其与赤眼蜂寄生的关系[J]. 昆虫学报, 1979, 22(1): 30–33, 118–120.
- Xia B Y, Wang H M. The structure of oak silkworm eggshell and it's relation to Trichogrammatid parasitism[J]. Acta Entomologica Sinica, 1979, 22(1): 30–33, 118–120. (in Chinese)
- [24] 倪鹏跃,王 敏. 赤眼蜂林间放蜂技术方法[J]. 防护林科技, 2018(4): 94–95 .
- Ni P Y, Wang M. Technique and method of releasing *Trichogramma* in forest[J]. Protection Forest Science and Technology, 2018(4): 94–95. (in Chinese)
- [25] Wang B, Ferro D N, Hosmer D W. Importance of plant size, distribution of egg masses, and weather conditions on egg parasitism of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* by *Trichogramma ostrinae* in sweet corn[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1997, 83(3): 337–345.
- [26] 张 烨,朱文雅,李 唐. 不同保护释放策略对螟黄赤眼蜂田间寄生和出蜂的影响[J/OL]. 东北农业科学: 1–7[2021–10–13].
- Zhang Y, Zhu W Y, Li T. Effect of Different protective release strategies on parasitism and emergence of *Trichogramma Chilonis* in the field[J/OL]. Journal of Northeast Agricultural Sciences: 1–7 [2021–10–13]. (in Chinese)
- [27] 张延峰,蔡 浩,张 帆,等. 玉米螟卵龄对玉米螟赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂种间竞争的影响[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(5): 75–80 .
- Zhang Y F, Cai H, Zhang F, et al. Effects of *Ostrinia furnacalis* egg age on interspecific competition between *Trichogramma ostrinae* and *Trichogramma dendrolimi*[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2010, 33(5): 75–80. (in Chinese)
- [28] 于锦梅,徐福海. 我国鲜食玉米发展的现状及对策[J]. 现代农业科技, 2008(17): 241–242 .
- Yu J M, Xu F H. Development status and countermeasures of fresh corn in China[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2008(17): 241–242. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)