化学农药与二化螟盘绒茧蜂对控制二化螟的不相容*

何馥晶[1**] 朱 凤[2] 严卫飞[1] 陆明星[1***] 杭三保[1] 杜予州[1***]

（1. 扬州大学园艺与植物保护学院，扬州大学应用昆虫研究所，扬州 225009；2. 江苏省植物保护植物检疫站，南京 210036）

摘 要 **【目的】** 近年来，多个地区二化螟 *Chilo suppressalis*（Walker）发生危害加重，对水稻生产造成新的重大威胁。由于水稻二化螟对常规防治药剂产生了抗药性，二化螟盘绒茧蜂 *Cotesia chilonis* (Munakata) 作为田间二化螟幼虫的优势寄生蜂，正逐渐引起大家关注。本论文通过研究室内繁殖的二化螟盘绒茧蜂对田间二化螟的防治效果，以探明室内繁殖的二化螟盘绒茧蜂的防控能力；同时研究多种环境友好型农药对田间二化螟的防治效果，并分析比较药剂防治对二化螟盘绒茧蜂寄生控制的影响。**【方法】** 设置 2 个放蜂密度和 7 种不同药剂处理，通过全查法系统调查不同处理小区的枯心数、白穗数、枯孕穗数、残留活虫数等变化以分析比较防效。**【结果】** 2 个放蜂密度（125 头蜂茧和 250 头蜂茧）处理下都可有效减少二化螟对水稻的为害；但 2 个放蜂密度之间无显著性差异。同时，放蜂密度高，寄生率就高。药剂实验结果发现溴氰虫酰胺悬浮剂防效最佳，氯虫苯甲酰胺悬浮剂和苏云金杆菌悬浮剂次之，杀虫双的防效最差。不同剂量的溴氰虫酰胺悬浮剂防治效果也有较大差异。此外，放蜂处理的小区二化螟盘绒茧蜂具有最高的寄生率，但无论那种农药处理都显著降低了二化螟被二化螟盘绒茧蜂寄生的寄生率。**【结论】** 二化螟盘绒茧蜂在田间对水稻二化螟具有一定的防控能力，但放蜂密度和技术仍然需要进一步研究。同时，所试验的 7 种杀虫剂均显著降低了二化螟绒茧蜂的控害效能，与释放二化螟绒茧蜂不兼容。在水稻二化螟药剂防治时不仅要考虑防治效果和使用剂量，还应考虑对天敌以及生态环境的影响。因此，本实验的结果为后续建立以二化螟盘绒茧蜂为中心的二化螟绿色防控体系提供了理论和实践基础。

关键词 二化螟；二化螟盘绒茧蜂；防控；农药；寄生率

The incompatibility of using both insecticides and *Cotesia chilonis* to control *Chilo suppressalis* in the field

HE Fu-Jing[1**] ZHU Feng[2] YAN Wei-Fei[1] LU Ming-Xing[1***] HANG San-Bao[1] DU Yu-Zhou[1***]

(1. School of Horticulture and Plant Protection, Institute of Applied Entomology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. Jiangsu Plant Protection and Plant Quarantine Station, Nanjing 210036, China)

Abstract **[Objectives]** Increasing crop damage by *Chilo suppressalis* (Walker) in recent years poses a major threat to rice production. Due to the resistance of *C. suppressalis* to multiple pesticides, the parasitic wasp *Cotesia chilonis* is gradually becoming more popular as a biological control for the larvae of *C. suppressalis* in the field. The aim of this study was to clarify the ability of insectary-reared *C. chilonis* to control *C. suppressalis* in the field, and investigate the effects of various environmentally-friendly pesticides on both *C. suppressalis* and *C. chilonis*. **[Methods]** The number of dead heart leaves, white ears and dead boot stages of rice, and the number of live *C. suppressalis* larvae, following releases of two different densities (125 and 250 cocoons) of *C. chilonis* and seven different pesticide treatments, was quantified and to compared. **[Results]** Both densities of *C. chilonis* reduced *C. suppressalis* damage to the rice plants; there was no significant difference

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划（2017YFD0201000）；“六大人才高峰”高层次人才项目（NY-088）；江苏省第五期“333 工程”项目（BRA2019314）

**第一作者 First author，E-mail：827848101@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：yzdu@yzu.edu.cn；lumx@yzu.edu.cn

收稿日期 Received：2020-05-02；接受日期 Accepted：2020-06-10

between the two densities of *C. chilonis* in this respect, although more *C. suppressalis* were parasitized after the higher density of *C. chilonis* were released. Among the different pesticide treatments, cyantraniliprole was the best, followed by chlorantraniliprole, and *Bacillus thuringiensis* and dimehypo were the worst. There were also large differences in the effectiveness of different doses of cyantraniliprole. The high parasitic rate was found where *C. chilonis* was released but all pesticide treatments significantly reduced the number of *C. suppressalis* larvae parasitized by *C. chilonis*. **[Conclusion]** *C. chilonis* can effectively control *C. suppressalis* in the field, but the optimal density and methodology of releasing *C. chilonis* requires further investigation. Although *C. suppressalis* were parasitized by *C. chilonis* where the later were released, all seven insecticides tested significantly reduced the proportion of *C. suppressalis* that were parasitized, indicating that the use of these pesticides is incompatible with the release of *C. chilonis* as a biological control. The control of *C. suppressalis* should consider not only the pesticide dosages required to control this pest, but also potential pesticide damage to its natural enemies and the environment as a whole. The results of this experiment provide both a theoretical and practical basis for the subsequent establishment of a more environmentally-friendly strategy for controlling *C. suppressalis* based on the use of *C. chilonis* as a biological control.

Key words *Chilo suppressalis*; *Cotesia chilonis*; control; pesticide; parasitic rate

水稻二化螟 *Chilo suppressalis* 隶属鳞翅目、螟蛾科、禾草螟属，是螟蛾科钻茎害虫中危害最为严重的害虫之一，广泛分布于亚洲、北非和南欧地区，在中国南部和北部均有为害（Lu *et al.*，2013；Luo *et al.*，2014）。水稻二化螟在我国一年发生 1-5 代，在扬州地区一年发生 2-3 代（Lu *et al.*，2013）。近年来，水稻二化螟除在原发生区危害呈上升趋势外，也正逐步向北扩散（陆明星等，2014；刘景波等，2019）。据全国农业技术推广服务中心预计，2020 年江南、西南北部、长江中游稻区二化螟为害总体重于 2019 年，为偏重发生、局部大发生。因此，水稻二化螟的防治形势依然严峻。目前在农业生产中，化学防治仍然是二化螟的主要防治手段（常菊花和何月平，2016）。由于化学农药的长期使用，二化螟已对一些常用的化学农药，如杀虫单（双）、氟虫腈、三唑磷、毒死蜱等产生了中到高水平的抗药性（He *et al.*，2013；常菊花和何月平，2016；赵丹丹等，2017）；而且化学农药的使用不当还会造成药害、人畜中毒、农药残留以及环境污染等问题。因此，许多学者对防治二化螟的新方法进行了探索（杭德龙等，2011；洪勇，2015），二化螟的生物防治就是其中之一。

二化螟盘绒茧蜂 *Cotesia chilonis*（Munakata）隶属膜翅目、茧蜂科、盘绒茧蜂属，其寄主专化性强，是水稻二化螟幼虫期的优势寄生蜂，在自然界对水稻二化螟越冬代幼虫的寄生率可高达 90%（杭杉葆等，1979；潘丹丹，2018）。因此，作为二化螟的一种重要寄生性天敌，利用其防控田间二化螟具有一定的应用价值（何俊华等，1979；Pan *et al.*，2018；Li *et al.*，2019）；而有关室内规模化繁殖二化螟盘绒茧蜂用于田间防治二化螟至今未见报道。

本研究通过设置 2 个放蜂密度初步探讨二化螟盘绒茧蜂对水稻二化螟的田间防控效能。同时，以几种常用的化学药剂作为参照，分析他们对二化螟的防治效果以及药剂对二化螟盘绒茧蜂寄生控制作用的影响，为后续建立以二化螟盘绒茧蜂为中心的二化螟绿色防控体系提供重要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地点 试验地选自扬州仪征市月塘镇的有机水稻田，面积约为 1 200 hm^2，并保证在 6 月上旬同时种植同一水稻品种（丰优香占），此外在水稻生育期间不施用其它化学农药防治其它病虫和杂草。

1.1.2 试验虫源 试验中使用的二化螟盘绒茧蜂采自田间，并以养虫室内饲养的 4 龄二化螟幼虫为寄主寄生繁殖，收集即将羽化的二化螟盘绒茧蜂蜂茧用于田间放蜂试验。

1.1.3 试验药剂 沙蚕毒素类杀虫剂：25%杀虫

双水剂，推荐用量 375-937.50 a.i.g/ hm^2，安徽华星有限公司。

大环内酯类杀虫剂：1.8%阿维菌素乳油，推荐用量 450-600 mL/hm^2，山东惠民中联生物科技有限公司。

有机磷类杀虫剂：40%毒死蜱乳油，推荐用量 750-1 500 mL/hm^2，安徽华星有限公司。

酰胺类杀虫剂：200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂，推荐用量 75-150 mL/hm^2，杜邦公司。

双酰胺类杀虫剂：19%溴氰虫酰胺悬浮剂，推荐用量 150-225 mL/hm^2，杜邦公司。

生物杀虫剂：400 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂，推荐用量 1 500-2 250 mL/hm^2，湖北禾泰农化有限公司。

1.2　试验方法

1.2.1　放蜂处理　在田间试验区设置 10 个小区，每小区面积 36.6 m^2（6.05 m × 6.05 m）。8 月 16 日在试验区设 2 个放蜂密度处理，放蜂密度分别为二化螟盘绒茧蜂 125 头蜂茧/小区和 250 头蜂茧/小区，每个处理 4 个重复，并在不同密度的放蜂区内各取一个小区不放蜂作为对照。试验小区按照完全随机区组试验设计，在处理区内的二化螟为害形成枯心团时（此时的二化螟幼虫为 4 龄及以上虫龄），将一个用硬塑料板围成的自制简易放蜂器插在枯心团的中央区域，并将很快就要羽化的二化螟盘绒茧蜂蜂茧置于放蜂器内；放蜂时间在上午 9:00 左右进行。

1.2.2　药剂试验　试验共设 7 个药剂处理，1 个空白对照，每处理 4 次重复，共计 32 个小区，每小区面积为 36.6 m^2（6.05 m × 6.05 m）。于 8 月 9 日进行药剂处理，试验小区按照完全随机区组试验设计，所有处理按每公顷用水量 675 kg，在二化螟低龄幼虫期使用手动喷雾器对植株整体进行均匀喷雾。各处理药剂及用药量见表 1。

1.2.3　调查方法　于 8 月 16 日起进行田间调查。调查时，对每个放蜂处理或药剂处理小区的被害株数（包括枯心数、枯孕穗数、白穗数等）进行计数，每隔 7 d 调查一次（施药后算起）。同时，在最后一次调查时需收集每小区内带根的螟害株，带回室内剥查二化螟活虫数进行统计。将剥查到的活二化螟幼虫按照小区分别用水稻苗进行饲养，每天观察其死亡、寄生以及化蛹等情况。

1.3　数据处理

使用单因素方差分析 ANOVA 进行差异显著性分析，通过 Levene's 检验评估各组数据之间的同质性，使用 Tukey 法进行多重比较。所有数据都用 Excel 和 SPSS 软件进行计算和数据分析。实验数据用均数±标准误来表示。

$$\text{防治效果}(\%)=\frac{\text{对照螟害株数}-\text{处理螟害株数}}{\text{对照螟害株数}}\times 100。$$

表 1　供试药剂试验设计

Table 1　The design of pesticides were used in this experiment

处理编号 Treatments number	药剂名称 Pesticides name	制剂用量 Preparations dosage
1	25%杀虫双水剂 25% dimehypo aqueous solution	750 a.i.g/hm^2
2	4 000 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂 4 000 IU/μL *Bacillus thuringiensis* suspension	1 875 mL/hm^2
3	1.8%阿维菌素乳油 1.8% abamectin emulsion	600 mL/hm^2
4	40%毒死蜱乳油 40% chlorpyrifos emulsion	1 500 mL/hm^2
5	200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 200 g/L chlorantraniliprole suspension	150 mL/hm^2
6	19%溴氰虫酰胺悬浮剂 19% cyantraniliprole suspension	150 mL/hm^2
7	19%溴氰虫酰胺悬浮剂 19% cyantraniliprole suspension	225 mL/hm^2
8	清水 Water	—

2 结果与分析

2.1 二化螟盘绒茧蜂对田间水稻二化螟的防控能力评估

在 2 个放蜂密度（分别为 125 头蜂茧和 250 头蜂茧）处理下，二化螟盘绒茧蜂的最高防效出现在放蜂 35 d 后，达 52.00%。在相同调查的时间，通过比较两组放蜂小区和对照组小区发现放蜂小区中的水稻平均枯心数、白穗数和枯穗数及残留二化螟幼虫数都低于对照小区（$F_{3,16}$=0.002，P=0.969；$F_{3,16}$=2.841，P=0.130；$F_{3,16}$=0.330，P=0.581；$F_{3,16}$=0.212，P=0.658）。但是不同放蜂密度调查发现二化螟盘绒茧蜂的控制效果无显著性差异（$F_{3,16}$=0.294，P=0.829；$F_{3,16}$=1.928，P=0.166）；而放蜂处理区的控制效果都与对照有显著差异（表 2）。

表 2 二化螟盘绒茧蜂对田间水稻二化螟的防控效果

Table 2 The control effect of *Cotesia chilonis* to *Chilo suppressalis* on rice fields

放蜂日期 Date of releasing *C. chilonis*	危害指标及防效 Injury index and control effect	处理 1 Treatment 1	处理 2 Treatment 2	对照 Control
放蜂日 8.16 The day of releasing *C. chilonis* August 16th	平均枯心数 The average number of dead heart	17.60±3.70^{a}	20.00±4.09a	16.50±4.50a
放蜂后 7 d Seven days after releasing *C. chilonis*	平均枯心数 The average number of dead heart	21.00±3.08^{b}	21.20±3.85^{b}	38.50±4.50^{a}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	45.45±8.00^{a}	44.93±10.01^{a}	0^{b}
放蜂后 14 d Fourteen days after releasing *C. chilonis*	平均枯心数 The average number of dead heart	22.60±2.50^{a}	29.00±2.88^{a}	34.00±9.00^{a}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	33.59±7.33^{a}	14.71±8.47^{ab}	0^{b}
放蜂后 21 d Twenty-one days after releasing *C. chilonis*	平均白穗数 The average number of white head	13.80±2.73^{b}	15.60±1.54^{ab}	24.00±1.00$_{a}$
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	42.50±11.37^{a}	35.00±6.40^{a}	0^{b}
放蜂后 28 d Twenty-eight days after *C. chilonis*	平均枯穗数 The average number of dead head	17.20±3.84^{a}	19.60±3.53^{a}	31.00±4.00^{a}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	44.51±12.38^{a}	36.78±11.39^{a}	0^{b}
放蜂后 35 d Thirty-five days after releasing *C. chilonis*	平均残活虫数 The average number of residual larvae	18.20±2.78^{b}	15.60±4.61^{b}	32.50±4.50^{b}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	44.00±8.46$_{a}$	52.00±14.19^{a}	0^{b}

处理 1 为 125 头蜂茧/小区；处理 2 为 250 头蜂茧/小区。表中同列数据后标有不同字母表示不同处理之间二化螟盘绒茧蜂对田间水稻二化螟的防效差异显著（P<0.05，Tukey 检验）。

Treatment 1 is 125 cocoons/area; Treatment 2 is 250 cocoons/area. Data followed by different letters in the same column indicate significant difference in different treatments of the control effect of *Cotesia chilonis* on *Chilo suppressalis* at the 0.05 level by Tukey test.

2.2 不同杀虫剂对水稻二化螟的田间防效评价

7 种药剂对田间水稻二化螟的防治试验结果（表 3）表明，19%溴氰虫酰胺 225 mL/hm^2 对田间水稻二化螟具有较好的防治效果，施药后的第 28 天防效最高，为 89.19%。200 g/L 氯虫苯甲酰胺和 19%溴氰虫酰胺 150 mL/ hm^2 也有一定的防治效果，其防效都在 50%以上，其中 200 g/L 氯虫苯甲酰胺的防效在施药后的第 28 天最高，为 75.68%；而 19%溴氰虫酰胺 150 mL/hm^2 在施药后的第 14 天达到最高，为 76.32%，此时该处理的防效也在 7 种不同药剂处理中最高。此外，从表 3 还可以看出，4 000 IU/μL 苏云金杆菌在施药后的第 14 天防效达到最高，为 63.16%；而 40%毒死蜱、1.8%阿维菌素和 25%杀虫双的防效较低，在施药后的第 7 天达到最高值时也仅为 51.85%、59.26%和 52.85%。在施药后的第 35 天调查发现，19%溴氰虫酰胺 225 mL/hm^2、200 g/L 氯虫苯甲酰胺和 4 000 IU/μL 苏云金杆菌仍保持一定的防效，其中以 19%溴氰虫酰胺 225 mL/hm^2 的防效最好，为 89.19%（表 3）。

表 3　7 种不同农药处理对水稻二化螟的田间防治效果

Table 3　The control effect of 7 kinds of pesticides treatment on *Chilo suppressalis* in the field

施药后的天数 Days after pesticide application	危害指标及防效 Injury index and control effect	供试药剂 Test pesticides							
		25%杀虫双 750 a.i.g/hm^2 25% dimehypo 750 a.i.g/ hm^2	4 000 IU/μL 苏云金杆菌 1 875 mL/hm^2 4 000 IU/μL *Bacillus thuringiensis* 1 875 mL/hm^2	1.8%阿维菌素 600 mL/ hm^2 1.8% abamectin 600 mL/hm^2	40%毒死蜱 1 500 mL/hm^2 40% chlorpyrifos 1 500 mL/hm^2	200 g/L 氯虫苯甲酰胺 150 mL/hm^2 200 g/L chlorantraniliprole 150 mL/hm^2	19%溴氰虫酰胺 150 mL/hm^2 19% cyantraniliprole 150 mL/hm^2	19%溴氰虫酰胺 225 mL/hm^2 19% cyantraniliprole 225 mL/ hm^2	对照 CK
施药后 7 d Seven days after pesticide application	平均枯心数 The average number of dead heart	3.25±0.85^{a}	3.50±1.85^{a}	2.75±1.03^{a}	3.00±1.08^{a}	3.25±1.38^{a}	2.00±0.71^{a}	2.00±0.41^{a}	6.75±0.85^{a}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	52.85±13.53^{abc}	49.14±27.84^{abc}	59.26±15.27^{ab}	51.85±16.42^{abc}	67.55±19.81^{ab}	72.24±11.44^{ab}	75.95±8.17^{ab}	—
施药后 14 d Fourteen days after pesticide application	平均枯心数 The average number of dead heart leaves	9.00±1.87^{b}	3.50±1.56^{b}	4.50±0.96^{b}	7.00±2.38^{b}	5.75±2.32^{b}	2.25±0.63^{b}	5.25±0.75^{b}	9.50±3.33^{b}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	5.26±18.09^{bcd}	63.1±16.36^{ab}	52.63±10.08^{abc}	26.32±25.06^{abcd}	39.47±24.45^{abcd}	76.32±6.62^{ab}	44.74±7.89^{abc}	—
施药后 21 d Twenty-one days after pesticide application	平均白穗数 The average number of white head	19.75±4.54^{b}	16.50±4.57^{b}	14.50±1.56^{b}	18.75±3.97^{b}	11.50±3.80^{b}	10.75±3.45^{b}	9.50±3.33^{b}	23.25±3.28^{b}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	15.05±19.50^{abcd}	29.03±19.67^{abcd}	37.64±6.69^{abcd}	19.35±17.06^{abcd}	50.54±16.33^{abc}	53.76±14.83^{abc}	60.08±13.52^{ab}	—
施药后 28 d Twenty-eight days after pesticide application	平均枯穗数 The average number of dead booting of rice	8.50±1.32^{ab}	4.00±0.71^{cd}	5.00±0.91^{bcd}	5.25±0.95^{abc}	2.25±1.03^{cd}	3.75±0.48^{cd}	1.00±0.71^{d}	9.25±0.48^{a}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	21.62±8.40^{abcd}	56.76±7.64^{ab}	45.95±9.87^{abc}	43.25±10.23^{abcd}	75.68±11.14^{ab}	59.46±5.17^{ab}	89.19±7.64^{a}	—
施药后 35 d Thirty-five days after pesticide application	平均残活虫数 The average number of residual larvae	10.75±1.25^{a}	3.25±0.85^{cd}	9.75±1.49^{ab}	7.00±1.29^{abc}	3.50±0.65^{cd}	5.50±0.87^{bcd}	1.00±0.41^{d}	7.75±1.18^{abc}
	防效±SE (%) Control effect ±SE (%)	−38.71±16.13^{d}	58.07±11.02^{ab}	−25.81±19.27^{cd}	9.68±16.66^{abcd}	54.84±8.33^{abc}	29.03±11.17^{abcd}	87.10±5.27^{ab}	—

表中同行数据后标有不同字母表示施药后不同农药处理之间防效差异显著（P<0.05，Tukey 检验）。

Data followed by different letters within a row indicate significant difference in different pesticide treatments of the control effect after pesticide application at the 0.05 level by Tukey test.

施药后第 35 天调查发现，在不施药的对照区，螟害株数为 7.75 个，25%杀虫双处理的小区螟害株数最多，为 10.75 头，而 4 000 IU/μL 苏云金杆菌处理的最少，仅为 3.25 个。然而，剥查这些受二化螟为害的稻株发现，在空白对照区中有最多的二化螟残留活幼虫，平均达到 33.75 头，25%杀虫双次之，为 25.75 头，19%溴氰虫酰胺悬浮剂 225 mL/hm^2 处理的最少，仅为 5.50 头（表 4）。因此，在评估杀虫剂防治二化螟的效果时，不但要看这些药剂对枯心、白穗的减少程度，还要考虑对田间二化螟幼虫的残留量。综上所述，七种用于防治试验的药剂，对水稻二化螟的防治效果排名依次为：19%溴氰虫酰胺悬浮剂 225 mL/hm^2 ≥ 19%溴氰虫酰胺悬浮剂 150 mL/hm^2=200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 150 mL/hm^2 ≥4 000 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂 1 875 mL/hm^2> 40%毒死蜱乳油 1 500 mL/hm^2>1.8%阿维菌素乳油 600 mL/hm^2>25%杀虫双水剂 750 a.i.g/hm^2。

表 4　7 种不同农药处理 35 d 后对水稻二化螟的田间杀虫效果

Table 4　The insecticidal effect of 7 kinds of pesticides treatment on *Chilo suppressalis* in the field after 35 days

供试药剂 Test pesticides	螟害株数 Injured seedling number	残留活虫数 Residual larvae number	防效（%） Control effect (%)
25%杀虫双水剂 25% dimehypo aqueous solution	10.75±4.37^{a}	25.75±4.87^{ab}	23.70±14.43^{c}
4 000 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂 4 000 IU/μL bacillus thuringiensis suspension	3.25±1.65^{ab}	12.00±3.08^{ab}	64.45±9.13a^{b}
1.8%阿维菌素乳油 1.8% abamectin emulsion	9.75±1.49^{ab}	11.25±1.44^{ab}	66.67±4.26a^{b}
40%毒死蜱乳油 40% chlorpyrifos emulsion	7.00±1.58^{ab}	19.50±2.02^{ab}	42.22±5.99b^{c}
200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 200 g/L chlorantraniliprole suspension	3.50±1.19^{ab}	8.50±2.22^{ab}	74.82±6.57^{ab}
19%溴氰虫酰胺 150 mL/hm^2 19% cyantraniliprole suspension 10 mL/hm^2	5.50±1.32^{ab}	8.50±0.65^{ab}	74.82±1.91^{ab}
19%溴氰虫酰胺 225 mL/hm^2 19% cyantraniliprole suspension 15 mL/hm^2	1.00±0.41^{b}	5.50±1.04^{b}	83.71±3.08^{a}
对照区 Control	7.75±1.18^{ab}	33.75±5.63^{a}	—

表中数据为平均值±标准误，同列数据后标有相同字母表示无显著差异（P>0.05，Tukey 检验）。下表同。

Data in the table are mean±SE, and followed by the same letters are not significant difference at the 0.05 level by Tukey test. The same below.

2.3　稻田不同处理对二化螟盘绒茧蜂寄生的影响

将各种处理区最后一次调查后收集的螟害株，带回室内剥查存活的二化螟幼虫并将其饲养，统计的寄生率见表 5。从表 5 可以看出，放蜂处理区的二化螟残留幼虫寄生率最高，其中在放蜂密度为 250 头蜂茧的小区寄生率达到 26.30%，放蜂密度为 125 头蜂茧的小区也有 13.89%。但是，放蜂对照区（未放蜂）和药剂处理对照区（未施药）的二化螟残留幼虫的寄生率仅为 6.80%和 3.09%，它们之间也无显著性差异（P=0.128）。此外，无论哪种农药处理的小区，其二化螟残留幼虫的寄生率都显著降低了放蜂区的寄生率，但是生物农药苏云金杆菌处理区的二化螟残留幼虫的寄生率较化学农药处理区的要高，而溴氰虫酰胺和毒死蜱处理区的二化螟残留幼虫未发现被寄生。

3　结论与讨论

二化螟盘绒茧蜂羽化时间集中于白天，雌雄蜂交尾高峰集中于上午 9：00 至 12：00 和晚上 18：00 至 21：00（杭杉葆等，1989a）。因此，本实验田间放蜂时间选择在上午 9：00 左右。在自制简易放蜂器的制作中，考虑到蜂茧的安全性，硬塑料片围成的正方形放蜂器保留上方盖

表 5　不同处理条件下稻田二化螟残留幼虫被寄生情况

Table 5　The parasitic rate of *Chilo suppressalis* of different experiment treatments in rice fields

处理药剂 Test pesticides	处理区的寄生率（%） Parasitism rate in the processing area (%)	显著性检验 Test of the difference
25%杀虫双水剂 25% dimehypo aqueous solution	1.98±0.29	c
4 000 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂 4 000 IU/μL bacillus thuringiensis suspension	4.18±0.18	c
1.8%阿维菌素乳油 1.8% abamectin emulsion	1.93±1.93	c
40%毒死蜱乳油 40% chlorpyrifos emulsion	0	c
200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 200 g/L chlorantraniliprole suspension	2.50±2.50	c
19%溴氰虫酰胺 150 mL/hm^2 19% cyantraniliprole suspension 10 mL/hm^2	0	c
19%溴氰虫酰胺 225 mL/hm^2 19% cyantraniliprole suspension 15 mL/hm^2	0	c
药剂对照区 Control area of pesticides	3.09±0.62	c
寄生蜂(125 头蜂茧/小区)Parasitic wasp (125 cocoons/area)	13.89±3.36	b
寄生蜂(250 头蜂茧/小区)Parasitic wasp (250 cocoons/area)	26.30±0.37	a
放蜂对照区 Control area of releasing *C. chilonis*	6.80±1.03	bc

片，这样既可以避免稻株露水的影响，也可防止飞行鸟类的干扰；同时将上方盖片保持一定弧度便于成蜂的飞行。此外，由于二化螟盘绒茧蜂对4 龄幼虫阶段的二化螟具有较高的寄生选择性和最快发育速度（陈华才等，2002），杭杉葆和林冠伦（1989）研究表明寄主体内的出蜂量与寄主龄期呈明显正相关。因此，本试验选择的 4 龄及以上二化螟幼虫期为寄主。

本试验发现，室内饲养的二化螟盘绒茧蜂在田间对水稻二化螟有一定的防控能力，其防效可达 52%，且只需一次放蜂就可对田间的二化螟起到持续控制作用。本试验选择的 2 个放蜂密度分别为每小区（36.6 m^2）125 头蜂茧和 250 头蜂茧，二者之间的防控效果无显著性差异。因此，建议以每公顷稻田释放 67 500 头左右的二化螟盘绒茧蜂蜂茧较好，且放蜂密度高，对后期二化螟残留幼虫的寄生率也高，但二化螟盘绒茧蜂的最佳放蜂密度还需进一步研究确定。

本研究结果表明，对二化螟的防效依次为19%溴氰虫酰胺悬浮剂 225 mL/hm^2≥19%溴氰虫酰胺悬浮剂 150 mL/hm^2=200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 150 mL/hm^2≥4 000 IU/μL 苏云金杆菌悬浮剂 1 875 mL/hm^2>40%毒死蜱乳油 1 500 mL/hm^2>1.8%阿维菌素乳油 600 mL/hm^2>25%杀虫双水剂 750 a.i.g/hm^2。一些药剂，如 40%毒死蜱、25%杀虫双和 1.8%阿维菌素的防治效果较差，是因为二化螟对其已产生抗药性（胡君等，2010；He *et al.*，2013；常菊花和何月平，2016；马惠等，2018）。19%溴氰虫酰胺悬浮剂和 200 g/L 氯虫苯甲酰胺悬浮剂具有一定的防治效果，这可能是由于这 2 种药剂使用时间较短的缘故；此外，19%溴氰虫酰胺悬浮剂的不同使用剂量防治效果也有较大差异，表明该药剂的实际使用量应每公顷使用 225 mL 较好。本研究结果表明，化学农药处理区的二化螟盘绒茧蜂对二化螟的寄生率都很低，其中溴氰虫酰胺处理组无被寄生的二化螟，可见所实验的 7 种杀虫剂甚至 BT 均不利于寄生蜂的效能的发挥，这些杀虫剂与二化螟绒茧蜂不兼容。这主要是化学药剂对寄生蜂的毒性较大所致（徐华强等，2014），化学药剂对二化螟盘绒茧蜂的毒性还有待进一步研究。由于田间二化螟盘绒茧蜂对二化螟的寄生率较高（Kazuo *et al.*，1974；蒋明星等，1999；潘丹丹等，2016），因此在开展二化螟绿色防控时，应注意合理施用

化学农药，如选用不同类型的药剂轮换使用，特别是与一些生物农药和其它防治方法的配合应用，才能达到绿色防控的目的。此外，本研究的结果还表明在水稻二化螟发生为害不严重的地区，自然界中的二化螟盘绒茧蜂可有效控制田间二化螟的为害。因此，在许多水稻种植地区应根据实际情况尽量减少对田间水稻二化螟的兼治，从而达到减少农药成本和生态成本。

参考文献 (References)

Chang JH, He YP, 2016. Research progress on resistance of *Chilo suppressalis* to commonly used pesticides. *Journal of Yangtze University* (*Nature Science Edition*), 13(9): 4–6. [常菊花, 何月平, 2016. 二化螟对常用杀虫剂的抗性研究进展. 长江大学学报(自然版), 13(9): 4–6.]

Chen HC, Lou YG, Cheng JA, 2002. The research and application of *Cotesia chilonis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 18(2): 90–93. [陈华才, 娄永根, 程家安, 2002. 二化螟绒茧蜂研究与应用概况. 中国生物防治, 18(2): 90–93.]

Hang DL, Jiao ZW, Zhao YW, Yang XW, Xia BW, Sun W, 2011. Control of first generation *Chilo suppressalis* by releasing *Trichogramma confusum* Viggiani in rice field. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 1(1): 28–30. [杭德龙, 焦兆文, 赵有文, 杨学文, 夏必文, 孙蔚, 2011. 稻田释放拟澳洲赤眼蜂防治一代二化螟研究. 农业灾害研究, 1(1): 28–30.]

Hang SB, Chen PH, Wu DZ, 1989a. Ecophysiology characteristic research of *Cotesia chilonis*. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 10(1): 23–26. [杭杉葆, 陈培红, 吴达璋, 1989a. 二化螟绒茧蜂生态学特性的研究. 江苏农学院学报, 10(1): 23–26.]

Hang SB, Lin GL, 1989b. Ecophysiology characteristic research of *Cotesia chilonis*. *Chinese Journal of Biological Control*, 5(1): 16–19. [杭杉葆, 林冠伦, 1989b. 二化螟绒茧蜂生物学特性的研究. 生物防治通报, 5(1): 16–19.]

He JH, Chen ZF, Xu JS, 1979. Natural Enemies of Rice Pests in Zhejiang Province. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press. 241–245. [何俊华, 陈樟福, 徐加生, 1979. 浙江省水稻害虫天敌图册. 杭州: 浙江科技出版社. 241–245.]

He YP, Zhang JF, Gao CF, Su JY, Chen JM, Shen JL, 2013. Regressiom analysis of dynamics of insecticide resistance in field populations of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) during 2002-2011 in China. *Journal of Economic Entomology*, 106(4): 1832–1837.

Hong Y, 2015. High virulence to *Chilo suppressalis*'s fungus for biology and solid-phase culturetechnique. Master dissertation. Anhui: Anhui Agricultural University. [洪勇, 2015. 对二化螟高毒力真菌的生物学及固相培养技术研究. 硕士学位论文. 安徽: 安徽农业大学.]

Hu J, Chen WM, Zhang ZZ, Zheng XS, Jin JC, Su JY, Gao CF, Shen JL, 2010. Insecticide resistance monitoring of *Chilo suppressalis* in the drainage area of the Yangtze river, China. *Chinese Journal of Rice Science*, 24(5): 509–515. [胡君, 陈文明, 张真真, 郑雪松, 靳建超, 苏建亚, 高聪芬, 沈晋良, 2010. 长江流域稻区二化螟抗药性监测. 中国水稻科学, 24(5): 509–515.]

Jiang MX, Zhu ZR, Zhu JL, Zhu ML, Liao XG, Wang ZJ, Cheng JA, 1999. Study on parasitism of rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*, in different habitats. *Chinese Journal of Biological Control*, 15(4): 145–149. [蒋明星, 祝增荣, 朱金良, 诸茂龙, 廖璇刚, 王正军, 程家安, 1999. 不同生境中水稻二化螟的自然寄生情况. 中国生物防治, 15(4): 145–149.]

Kazuo I, Yamazaki S, Machimura N, 1974. Studies on the parasite, *Cotesia chilonis* Munakata, on the rice stem borer, *Chilo suppressalis* Walker.II. Generations in a year and the parasitism. *Proceedings of Association for Plant Protection of Hokuriku*, 22: 43–47.

Li QY, Li ZL, Lu MX, Cao SS, Du YZ, 2019. Selection of valid reference genes for quantitative real-time PCR in *Cotesia chilonis* (Hymenoptera: Braconidae) exposed to different temperatures. *PLoS ONE*, 14(12): e0226139.

Liu JB, Liu ZQ, Yuan Q, Hu RX, Chen JB, Dai L, 2019. Analysis of new characteristics of *Chilo suppressalis* (Walker) outbreak ——Taking Qijiang city as an example. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, (11): 208–214. [刘景波, 刘志强, 袁清, 胡瑞湘, 陈剑宝, 戴亮, 2019. 水稻二化螟大发生新特征分析——以沅江市为例. 农业科技通讯, (11): 208–214.]

Lu MX, Du YZ, Liu ZX, Hua J, Liu PY, Li JY, 2013. Diapause, signal and molecular characteristics of overwintering *Chilo suppressalis*. *Scientific Reports*, 3: 3211.

Lu MX, Lu ZZ, Du YZ, 2014. Methods and technologies for surveying and forecasting the rice stem borers. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(4): 1125–1129. [陆明星, 陆自强, 杜予州, 2014. 水稻钻蛀性螟虫田间调查及测报技术. 应用昆虫学报, 51(4): 1125–1129.]

Luo GH, Li XH, Han ZJ, Guo HF, Yang Q, Wu M, Zhang ZC, Liu BS, Qian L, Fang JC, 2014. Molecular characterization of the

piggyBac-like element, a candidate marker for phylogenetic research of *Chilo suppressalis* (Walker) in China. *Biomedcentral Molecular Biology*, 15(28): 28–29.

Ma H, Yang J, Ji XL, Chen BC, Xu J, Li JL, Lin XQ, 2018. Susceptibility of *Chilo suppressalis* from Shandong to six insecticides. *Journal of Northern Rice*, 48(5): 6–10. [马惠, 杨军, 纪祥龙, 陈博聪, 徐进, 李景岭, 林香青, 2018. 山东稻区二化螟对 6 种药剂的敏感度研究. 北方水稻, 48(5): 6–10.]

Pan DD, 2018. Analysis the transcription of *Chilo suppressalis* under parasitic stress of *Cotesia chilonis* and differentially expressed CSHSPs. Master dissertation. Yangzhou: Yangzhou University. [潘丹丹, 2018. 二化螟盘绒茧蜂寄生胁迫下的二化螟转录组分析及差异性表达的热激蛋白研究. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学.]

Pan DD, Cao SS, Lu MX, Hang SB, Du YZ, 2018. Genes encoding heat shock proteins in the endoparasitoid wasp, *Cotesia chilonis*, and their expression in response to temperatures. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(5): 1012–1022.

Pan DD, Liu ZX, Lu MX, Cao SS, Yan WF, Du YZ, 2016. Species investigation and Occurrence dynamic of parasitic wasps of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) in Yangzhou. *Journal of Environmental Entomology*, 38(6): 1106–1113. [潘丹丹, 刘中现, 陆明星, 曹爽爽, 严卫飞, 杜予州, 2016. 扬州地区水稻二化螟寄生蜂种类及主要寄生蜂发生动态. 环境昆虫学报, 38(6): 1106–1113.]

Xu HQ, Liu YY, Zhu GD, Xue M, 2014. Comparison of toxicity and safety evaluation of 16 kinds of pesticides on *Trichogramma ostriniae* and *Encarsia Formosa*. *Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 959–964. [徐华强, 刘艳艳, 祝国栋, 薛明, 2014. 16 种不同类型农药对两种寄生蜂的毒性比较和安全性评价. 环境昆虫学报, 36(6): 959–964.]

Zhao DD, Zhou LQ, Zhang S, Yao R, Qiu YX, Gao CF, 2017. Resistance monitoring and cross-resistance to the diamides in the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Chinese Journal of Rice Science*, 31(3): 307–314. [赵丹丹, 周丽琪, 张帅, 姚蓉, 邱运霞, 高聪芬, 2017. 二化螟对双酰胺类杀虫剂的抗药性监测和交互抗性研究. 中国水稻科学, 31(3): 307–314.]