二化螟危害水稻产量损失研究*

赫思聪[1**] 周淑香[1***] 李丽娟[1] 高月波[1] 毛 刚[1,2]
刘 剑[1,2] 孙康娜[2] 李光雪[2] 鲁 新[1***]

（1. 吉林省农业科学院植物保护研究所，公主岭 136100；2. 吉农高新技术公司生防分公司，公主岭 136100）

摘 要 【**目的**】研究 2 代区第 1 代二化螟 *Chilo suppressalis* 为害对水稻产量的影响。【**方法**】通过人工接种二化螟黑头卵模拟 2 代区第 1 代二化螟为害对水稻产量损失的影响。【**结果**】2 代区第 1 代二化螟幼虫危害造成水稻枯鞘、枯心和枯死株，致使单位面积有效穗数减少，产量降低。随着接卵量增加水稻被害株率增加，产量损失率增加，接卵量与产量损失率的关系符合方程 y=0.039x - 2.793。根据害虫经济阈值的定义，推算出 1 代二化螟卵量防治指标为 111 块/667 m^2，通过分析越冬代性比和雌蛾产卵量数据，提出二化螟成虫防治指标为灯诱累积 20.2 头或性诱累积 8.3 头。【**结论**】明确了 1 代二化螟卵量和成虫的防治指标，对二化螟的早期防治有重要指导意义。

关键词 二化螟；产量损失；水稻；经济阈值

Loss of rice crops caused by the stemborer, *Chilo suppressalis*

HE Si-Cong[1**] ZHOU Shu-Xiang[1***] LI Li-Juan[1] GAO Yue-Bo[1] MAO Gang[1,2]
LIU Jian[1,2] SUN Kang-Na[2] LI Guang-Xue[2] LU Xin[1***]

(1. Institute of Plant Protection, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100, China;
2. Subsidiary Company of Biological Control, Jinong Hi-Tech Co., Ltd. Gongzhuling 136100, China)

Abstract **[Aim]** To determine the loss inflicted on rice crops by the first generation of *Chilo suppressalis* in two regions. **[Methods]** The relationship between the occurrence of the first generation of *C. suppressalis* and crop loss was studied by artificially inoculating rice plants with *C. suppressalis* egg-masses. **[Results]** First generation larvae in a second-generation area caused withered sheaths, withered hearts and plant death. As a result, the number of effective panicles per unit area of rice was reduced and yield decreased. The loss rate increased with the number of eggs; the correlation between crop loss and the number of egg-masses per 667 m^2 can be described by the equation: y = 0.039x - 2.793. According to the definition of an economic threshold, the control index for the first generation of *C. suppressalis* is 111 egg-masses per 667 m^2. By analyzing the sex ratio and oviposition of the overwintering generation, we propose that the control index for adults be set at 20.2 for light trapping, or 8.3 adults for sex-pheromone trapping. **[Conclusion]** These results provide important information for the early control of *C. suppressalis* in rice crops.

Key words *Chilo suppressalis*; yield loss; rice; ecomomic threshold

二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)，属鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae，是水稻生产上最重要的常发性害虫之一（肖海军等，2012；鲁艳辉等，2016；周淑香等，2021b），通过钻蛀稻茎为害，可直接造成枯心和白穗。在灌浆期为害造成虫伤株，可导致籽粒不饱满，从而引起产量和质量下降，钻蛀稻株吃空髓腔后会导致植株不抗倒伏，从而引起更严重的间接损失（周淑香等，2000；韩永强，2022）。近年来，由于气候、耕作制度等变化及施药习惯等因素影响，二化螟的

*资助项目 Supported projects：吉林省科技发展计划重点项目（20180201036NY）
**第一作者 First author，E-mail：286592817@qq.com
***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：df-200@yeah.net；luxin58@163.com
收稿日期 Received：2022-09-12；接受日期 Accepted：2023-04-24

发生规律出现了重大变化，表现为虫口基数高，死亡率降低，发生期提前与延后，导致二化螟发生世代数增加，为害加重，防治难度加大（吴丽岩和陈继光，2009；王立达，2016；李丽娟等，2019；周淑香等，2021a；王紫君等，2023）。研究二化螟为害对水稻产量的影响，明确二化螟危害水稻生物防治阈值，对于合理地提出二化螟防治策略，减少化学农药使用量具有重要意义。本研究成果推广应用后旨在提高水稻二化螟的整体防治水平，保护农田生态系统的生物多样性。对保障国家的粮食安全和保护生态环境具有重大意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点

吉林省公主岭市南崴子镇刘大壕村（43°59′N，124°71′E），海拔 214.88 m，温带季风气候，为水稻二化螟 2 代发生区。

1.2 供试昆虫和水稻品种

供试昆虫：水稻二化螟为吉林省农业科学院植物保护研究所室内饲养种群；水稻品种为吉粳 88 号，由吉林省农业科学院水稻研究所提供。

1.3 试验方法

1.3.1 不同二化螟接卵量对水稻产量损失的影响 试验采用随机区组设计，小区面积 1.5 m × 8.0 m（12 m^2），适时插秧后，用性诱捕器监测二化螟成虫发生动态，于越冬代成虫羽化高峰期接入二化螟黑头卵块，每个卵块 30-40 粒卵。接入的二化螟卵量分别为 0、2、6、8、10 和 12 块/小区（各相当于每 667 m^2 卵量分别为 0、111、333、444、555 和 666 块）6 个处理，卵块均匀分布，重复 4 次。每个处理固定 100 穴，分别于接卵后 5、10、15、20 d 调查二化螟危害水稻情况，记载水稻被害株数（枯鞘、枯心与枯死株数总和）。每小区随机选取 20 穴调查每穴株数，求得平均每穴株数，乘以小区穴数，即为小区内总株数，计算被害株率。田间管理与当地大田生产水平一致。为了防止自然落卵对试验的干扰，在 1 代二化螟发生期，每 3-4 d 调查 1 次水稻上的自然落卵情况，并及时人工去除。在 2 代卵孵化盛期喷杀虫剂 2 次，以控制第 2 代幼虫和其他害虫的危害。水稻成熟后适时收获，收获前每小区随机选取 1 m^2 调查穴有效穗数，后剪下所有稻穗带回实验室烘干，测量平均穗粒数、平均穗粒重、千粒重和单位面积产量，计算产量损失率。

1.3.2 二化螟越冬代性比和产卵量调查 2018-2020 年春季在水稻根茬内采集二化螟越冬代幼虫，带回实验室，单头放入大试管（4 cm × 12 cm）中，（25 ± 1）℃、RH 75%±5%，16 L∶8 D 条件下培养至羽化，统计羽化的雌蛾和雄蛾数量，计算越冬代性比。将刚羽化的成蛾雌、雄各 1 头放入已放有健壮、干净水稻苗的养虫笼内，于（25 ± 1）℃、RH 75%±5%，16 L∶8 D 养虫室中饲养，每 24 h 观察 1 次，记录每头雌蛾的产卵量，并人工去除，直到雌蛾死亡，统计单雌产卵量。

1.4 数据分析

用 One-way ANOVA 进行方差分析，用 LSD 进行差异显著性检验，通过回归分析拟合曲线确定接卵量和产卵损失率的关系方程。根据害虫经济阈值（防治指标）的定义，害虫防治指标是指挽回收益与防治费用相等时害虫的密度，推算出 1 代二化螟卵量防治指标，通过二化螟越冬代性比和雌蛾产卵量数据，推算出二化螟成虫防治指标。以上数据分析采用 Excel 和 SPSS15.0 进行。

2 结果与分析

2.1 二化螟危害情况调查

水稻二化螟 2 代发生区第 1 代幼虫危害造成枯鞘、枯心，并进一步发展成枯死株。随着接虫量增加水稻被害株率逐渐增加，各处理差异显著（5 d：df=5, F=6.543, P=0.001；10 d：df=5, F=3.669, P=0.018；15 d：df=5, F=0.607, P=0.003；20 d：df=5, F=14.076, P<0.01）（表 1），但调查结果随调查时间不同发生变化，危害状随时间变长加重，枯心和枯死株数增加，但枯心和枯死株

表 1　接种二化螟后水稻被害株率调查结果

Table 1　Investigation results of percentage of damaged rice plants damaged by *Chilo suppressalis*

处理 Treatment	被害株率（%）Percentage of damaged plants (%)			
	5 d	10 d	15 d	20 d
0	0.17±0.01 d	0.11±0.04 c	0.35±0.09 c	0.53±0.95 c
111	1.74±0.20 c	3.74±0.71 b	4.43±0.12 b	6.43±1.80 b
333	3.62±0.79 b	4.62±0.74 b	6.73±0.85 b	10.55±1.60 b
444	4.36±0.82 b	7.73±0.91 ab	9.21±0.23 ab	14.47±1.40 b
555	8.23±0.16 a	6.36±0.51 ab	11.13±2.02 ab	16.34±0.65 ab
666	6.92±0.78 ab	9.11±0.52 a	14.47±2.01 a	18.58±0.61 a

表中同一列数据后标有不同字母表示数据间差异显著（LSD 法，$P<0.01$）。下表同。

Data with different letters in the same column indicate significant difference (LSD test, $P<0.01$). The same below.

会腐烂而使危害状消失。

2.2　接卵量对水稻产量的影响

不同接卵处理平均每穗粒数、穗粒重及千粒重差异不显著（穗粒数：$df=5$，$F=0.947$，$P=0.451$；穗粒重：$df=5$，$F=0.277$，$P=1.382$；千粒重：$df=5$，$F=0.386$，$P=1.062$），有效穗数和单位面积产量存在显著差异（有效穗数/穴：$df=5$，$F=14.394$，$P<0.01$；粒重/m^2：$df=5$，$F=18.918$，$P<0.01$）。随着接卵量增加，水稻被二化螟危害情况加重，单位面积产量下降，产量损失率增加（表 2）。通过回归分析，拟合曲线得到：接卵量和产量损失率的关系方程 $y=0.039x-2.793$（$r^2=0.923^{**}$），其中 x 为百株接卵量，y 为产量损失率。

表 2　二化螟危害对水稻产量的影响

Table 2　Effect of *Chilo suppressalis* damaged on rice yield

处理 Treatment	穴有效穗数（穗/穴）Effective panicles per hole	平均穗粒数（粒/穗）Grains per panicles	平均穗粒重（g）Grains weight per panicles (g)	千粒重（g）Thousand kernel weights (g)	单位面积产量（g/m^2）Yield per square meter (g/m^2)	产量损失率（%）Yield loss rate (%)
0	20.09±0.47 a	129.98±7.08 a	2.64±0.06 a	22.05±0.24a	1 214.0±24.57 a	0.00
111	18.58±0.33 b	128.35±5.69 a	2.75±0.06 a	21.85±0.14a	1 204.3±14.83 a	0.81
333	17.88±0.28 bc	138.48±4.54 a	2.66±0.09 a	21.72±0.16a	1 093.0±51.36 b	10.99
444	17.60±0.66 bc	126.98±5.45 a	2.71±0.08 a	22.14±0.17a	1 033.8±15.47 bc	17.43
555	17.16±0.33 c	132.98±6.10 a	2.63±0.05 a	21.83±0.1 a	988.8±1.89 bc	22.78
666	15.46±0.17 d	122.40±4.48 a	2.55±0.02 a	22.15±0.1 a	941.5±34.91 c	28.94

2.3　越冬代二化螟危害的经济阈值

根据害虫经济阈值（防治指标）的定义，害虫防治指标是指挽回收益与防治费用相等时害虫的密度。因此，根据目前水稻田赤眼蜂防治二化螟一次的成本（300 元/hm^2）和水稻价格（4 元/kg）来计算，相当于 75 kg 水稻的价值。在目前吉林省水稻平均单产 5 000 kg/hm^2 的条件下，折算损失率为 1.5%。此值代入接卵量和水稻产量损失率的关系方程，得到第一代二化螟卵量的防治指标为每 667 m^2 累积卵量为 111 块。

通过越冬代成虫性比和产卵量调查结果（表 3，表 4），越冬代单雌产卵量为 9.3 块，11.9 头雌虫的累计产卵量为 111 块，越冬代二化螟的雌

雄比为 1∶0.7,根据此比值估算雄蛾量为 8.3 头。得到越冬代二化螟蛾量的防治指标为灯诱累积 20.2 头或性诱累积 8.3 头。

表 3 二化螟越冬代成虫性别调查结果
Table 3 Sex ratio survey of overwintering adults of *Chilo suppressalis*

年份 Year	雌蛾（头） Female (ind.)	雄蛾（头） Male (ind.)	雌雄比 Sex ratio (female∶male)
2018	46	27	1∶0.6
2019	58	43	1∶0.7
2020	42	37	1∶0.9
平均值 Average value	48.7	35.7	1∶0.7

表 4 二化螟越冬代雌蛾产卵量调查结果
Table 4 Oviposition of overwintering female moths of *Chilo suppressalis*

年份 Year	单雌产卵量（块） Egg masses laid by per female	样本量 Sample size
2018	9.3±1.5	21
2019	8.8±1.2	24
2020	9.6±0.9	30
平均值 Average value	9.3±0.7	75

3 结论与讨论

二化螟危害不同生育期水稻造成的危害状不同，分蘖期危害造成枯心和枯鞘；孕穗至抽穗期危害造成枯孕穗和白穗；灌浆期至乳熟期危害造成半枯穗和虫伤株。吉林省公主岭市二化螟每年发生 2 代(周淑香等，2021a)，越冬代羽化高峰期与水稻分蘖期重合，此时接虫造成水稻枯鞘、枯心和枯死株，随着接卵量增加水稻被害株率逐渐增加，但调查结果因调查时间不同而变化，可能是由危害状随时间的发展变化引起的。

二化螟危害形成的枯鞘继而形成枯心，显著减少单位面积有效穗数，但对穗平均总粒数、穗平均实粒数、结实率及千粒重影响不大，由于枯鞘形成的枯心使水稻单位面积有效穗数显著减少，进而对水稻造成比较明显的减产作用（王金辉等，2006）。本研究不同接卵处理平均每穗粒数、穗粒重及千粒重差异不显著，但单位面积产量存在显著差异，可能是枯鞘和枯心导致的单位面积有效穗数减少造成的，这与穴有效穗数随接虫量增加而显著减少的调查结果也相符。

国内学者对二化螟的化学防治指标做了比较详细的工作，提出了一些以被害丛率、枯鞘茎率和卵量作为依据的防治指标，如魏凯（1987）提出二化螟防治指标为 200-240 个卵块/667 m^2，或防治适期的被害丛率 11%-12%或枯鞘茎率 2.4%-2.6%；孙富余等（2000）提出了辽宁省二化螟化学防治指标为枯鞘丛率 5%-6%；王金辉等（2006）提出湖南省第 1 代二化螟药剂防治指标为枯鞘株率 3.1%；李孝杰（1983）提出 1 代二化螟防治标准为 120-180 块/667 m^2，但卵量不易调查，被害丛率和枯鞘茎率因调查时间不同存在较大误差。且防治指标是随害虫世代、作物品种、发育阶段、栽培水平、防治成本及稻谷价格等条件变化而改变的，各地区要根据本地的实际情况适当调整从而满足生产实际需要(王金辉等，2006)。本研究得出越冬代二化螟的生物防治指标为累积卵量 111 块/667 m^2，为了便于监测，根据吉林省二化螟越冬代性比和产卵量调查结果换算得到了越冬代二化螟蛾量的生物防治指标为灯诱累积 20.2 头或性诱累积 8.3 头，对二化螟早期防治具有指导作用。

参考文献 (References)

Han YQ, Li DD, Deng QQ, Wang LJ, Hou ML, 2022. Control of the rice stem borer and rice leaf folder using the seed dressing agent chlorantraniliprole. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(5): 1160–1172. [韩永强, 李丹丹, 邓权权, 王龙江, 侯茂林, 2022. 50%氯虫苯甲酰胺悬浮剂拌种对二化螟和稻纵卷叶螟的防治效果. 应用昆虫学报, 59(5): 1160–1172.]

Li LJ, Zhou SX, Chang X, Mao G, Ding Y, Zhang GH, Liu J, Sun KN, Li GX, Lu X, 2019. Screening of *Trichogramma* Strains with high-Efficiency parasitism to the eggs of *Chilo suppressalis*. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 44(2): 19–22. [李丽娟, 周淑香, 常雪, 毛刚, 丁岩, 张国红, 刘剑, 孙康娜, 李光雪, 鲁新, 2019. 高效寄生水稻二化螟卵的赤眼蜂品系筛选. 东北农业科学, 44(2): 19–22.]

Li XJ, 1983. Yield loss and control index of rice damaged by one generation of *Chilo suppressalis*. *Hubei Agricultural Sciences*,

22(4): 21–23. [李孝杰, 1983. 一代二化螟为害水稻的产量损失及其防治指标. 湖北农业科学, 22(4): 21–23.]

Lu YH, Zhao YY, Zhang FC, Zheng XS, Zhu PY, Lü ZX, 2016. Cloning and spatiotemporal and temperature-induced expression profiling of diapause bioclock protein TIME-EA4 gene in the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59(4): 392–401. [鲁艳辉, 赵燕燕, 张发成, 郑许松, 朱平阳, 吕仲贤, 2016. 二化螟滞育生物钟蛋白 TIME-EA4 基因的克隆及时空和温度诱导表达分析. 昆虫学报, 59(4): 392–401.]

Sun FY, Tian CH, Qiao SW, Zhang JZ, Lü J, 2000. Determination of chemical control index of main rice pests in Liaoning Province. *Liaoning Agricultural Sciences*, 41 (3): 4–6. [孙富余, 田春晖, 乔世文, 张建中, 吕晶, 2000. 辽宁省水稻主要害虫化学防治指标的确定. 辽宁农业科学, (3): 4–6.]

Wang JH, Chen YK, Zheng HB, Wang ZW, He XP, 2006. Study on the influence of the dry sheath of the first generation of *Chilo suppressalis* on the growth and development of rice and the guidance of chemical control. *Plant Protection*, 32(6): 88–91. [王金辉, 陈运康, 郑和斌, 王争文, 贺雪平, 2006. 第一代二化螟枯鞘对水稻生长发育影响及药剂防治指导研究. 植物保护, 32(6): 88–91.]

Wang LD, 2016. Study on the impact of climate warming on the harm of *Chilo suppressalis* in heilongjiang province and green control countermeasures. *Agriculture and Science and Technology*, 36(17): 97–98. [王立达, 2016. 气候变暖对黑龙江省水稻二化螟为害影响及绿色防控对策研究. 农业与科技, 36(17): 97–98.]

Wang ZJ, Ren ZJ, Song XD, Wang CR, Zhang QF, Yu HC, 2023. The frequency of occurrence of *Chilo suppressalis* in Harbin. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 60(3): 913–921. [王紫君, 任中杰, 宋显东, 王春荣, 张齐凤, 于洪春, 2023. 哈尔滨地区水稻二化螟发生规律研究. 应用昆虫学报, 60(3): 913–921.]

Wei K, 1987. Study on index of chemical control of striped rice borer, *Chilo suppressalis* Walker-Ⅱ. Study of yield loss rate damage by *Chilo suppressalis* and discussion on static model of economic threshold. *Journal of Hunan Agricultural University*, 32(2): 37–41. [魏凯, 1987. 水稻二化螟防治指标研究-Ⅱ. 二化螟为害和产量损失率测定及经济阈值静态模型探讨. 湖南农学院学报, 32(2): 37–41.]

Wu LY, Chen JG, 2009. Investigation and study on occurrence rule and forecasting method of *Chilo suppressalis* in cold area. *China Plant Protection*, 29(8): 19–20. [吴丽岩, 陈继光, 2009. 寒地水稻二化螟发生规律和测报方法调查研究. 中国植保导刊, 29(8): 19–20.]

Xiao HJ, He HM, Xue FS, 2012. Research progress in characteristics of diapause biology in *Chilo suppressalis*. *Biological Disaster Science*, 35(1): 1–6. [肖海军, 何海敏, 薛芳森, 2012. 二化螟滞育生物学特性的研究进展. 生物灾害科学, 35(1): 1–6.]

Zhou SX, Chen LL, Li LJ, Lu X, Gao YB, Li XY, 2021a. Study on the occurrence of the *Chilo suppressalis* in Jilin Province in China. *China Plant Protection*, 41(2): 36–43, 53. [周淑香, 陈立玲, 李丽娟, 鲁新, 高月波, 李小宇, 2021a. 吉林省水稻二化螟发生动态研究. 中国植保导刊, 41(2): 36–43, 53.]

Zhou SX, Li LJ, Lu X, Wang QH, Luan L, 2020. The effect of trapping type and hanging height on the trapping effect of *Chilo suppressalis*. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 45(2): 32–35. [周淑香, 李丽娟, 鲁新, 王秋华, 栾丽, 2020. 诱捕器类型和悬挂高度对二化螟诱集效果的影响. 东北农业科学, 45(2): 32–35.]

Zhou SX, Li LJ, Mao G, Liu J, Sun KN, Li GX, Gao YB, Lu X, 2021b. Effects of *Trichogramma* on *Chilo suppressalis* in different generation occurrence areas. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 46(6): 56–59. [周淑香, 李丽娟, 毛刚, 刘剑, 孙康娜, 李光雪, 高月波, 鲁新, 2021b. 不同世代发生区赤眼蜂防治二化螟效果差异分析. 东北农业科学, 46(6): 56–59.]