

挂卵密度对豆天蛾幼虫生长发育和 大豆产量的影响*

李晓峰^{1**} 郭明明¹ 李大维³ 邓盼² 李俊领³ 陈凤^{1***}

(1. 江苏徐淮地区连云港农业科学研究所, 连云港市农业科学院, 连云港 222000; 2. 江苏省农业科学院休闲农业研究所, 南京 210000; 3. 江苏省农垦农业发展股份有限公司云台分公司, 连云港 222063)

摘要 【目的】通过比较豆天蛾 *Clanis bilineata* Walker 卵在不同密度下对幼虫生长发育和大豆产量的影响, 筛选大豆种植密度一定时的最佳挂卵密度。【方法】选择大豆种植密度为行距×株距=40 cm×20 cm 的田块, 选取面积为 20 m² 的小区 9 块, 将挂卵密度为 10、20、30、40、50、60、70 和 80 粒/m² 的卵粒分别挂在小区内, 以不挂卵小区作为对照, 每个处理分别设置 3 次重复。统计不同挂卵密度的豆天蛾幼虫在收获时幼虫生长日龄、存活率、体长、体重、幼虫产量和大豆产量等指标。【结果】挂卵密度为 30 粒/m² 幼虫在 25 日龄被收获, 且幼虫存活率达到最大值, 为 58.44%, 其次是挂卵密度为 10、20 和 40 粒/m², 幼虫存活率分别为 58.33%、55.56% 和 52.33%, 4 个处理间幼虫存活率差异不显著 ($P>0.05$), 但均显著高于其它 4 个处理 ($P<0.05$); 挂卵密度为 30 粒/m² 的幼虫体长与挂卵密度为 10 粒/m² 的幼虫体长相同, 均为 8.09 cm, 且高于其它 6 个处理; 挂卵密度为 30 粒/m² 的幼虫体重为 9.35 g, 仅小于挂卵密度为 20 粒/m² 的幼虫体重 (9.39 g), 但二者的幼虫体重无显著性差异 ($P>0.05$); 挂卵密度为 30 粒/m² 的幼虫产量高达 158.00 g/m², 其次分别为处理 40 粒/m² 和 50 粒/m², 幼虫产量分别为 153.00 g/m² 和 140.17 g/m², 3 个处理的幼虫产量间无显著性差异 ($P>0.05$), 但均显著高于其他 5 个处理 ($P<0.05$); 卵密度为 30 粒/m² 时大豆产量为 142.50 g/m², 显著低于对照大豆产量 210.33 g/m² ($P<0.05$)。【结论】在 30 粒/m² 挂卵密度下, 豆天蛾幼虫各项指标表现良好, 符合市场发展需求。此结果为豆天蛾人工养殖提供了一定的理论基础和技术指导。

关键词 豆天蛾; 挂卵密度; 幼虫生长发育; 产量

Effects of hanging density of *Clanis bilineata* eggs on the larval growth and development of this species and on soybean production

LI Xiao-Feng^{1**} GUO Ming-Ming¹ LI Da-Wei³ DENG Pan² LI Jun-Ling³ CHEN Feng^{1***}

(1. Institute of Lianyungang Agricultural Science of Xuhuai Area of Jiangsu, Lianyungang Academy of Agricultural Science, Lianyungang 222000, China; 2. Institute of Leisure Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210000, China; 3. Yuntai Branch of Jiangsu Provincial Agricultural Reclamation and Development Corporation, Lianyungang 222063, China)

Abstract 【Objectives】To compare the effects of different hanging densities of *Clanis bilineata* eggs on larval development and soybean production in order to determine the optimal hanging egg density for the artificial propagation of this species. 【Methods】At a soybean planting density of 40 cm × 20 cm (row spacing × plant spacing), the egg hanging density was experimentally set at 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 or 80 eggs/m². Eggs were hung in 20 m² plots with 3 replicate plots for each of the 8 treatments, plus a control plot without eggs. The developmental period, survival rate, body length, body weight and total yield of larvae and soybeans, were compared between treatments and the control. 【Results】Larvae were harvested at 25 days of age. The highest larval survival rate of 58.44% was recorded at a density of 30 eggs/m², followed by egg densities of 10, 20

*资助项目 Supported projects: 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(20)3117]; 连云港市财政局专项资金 (QNJJ1916, QNJJ1903)

**第一作者 First author, E-mail: 2275638093@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: tulips1973@126.com

收稿日期 Received: 2021-8-27; 接受日期 Accepted: 2021-12-22

and 40 eggs/m² (58.33%, 55.56% and 52.33%, respectively). Although there was no significant difference in larval survival rate of these four treatments ($P>0.05$), they were collectively significantly higher than those of the other four treatments ($P<0.05$). The body length of larvae in the 30 eggs/m² group was the same as that of larvae in the 10 eggs/m² group (8.09 cm), and were collectively higher than those in the other 6 treatments. The body weight of larvae in the 30 eggs/m² group was 9.35 g, although less than that in the 20 eggs/m² (9.39 g) group, was not significantly different ($P>0.05$). The highest larval yield of up to 158.00 g/m² was recorded in the 30 eggs/m² group, followed by the 40 and 50 eggs/m² groups which had larval yields were 153.00 and 140.17 g/m², respectively. There was no significant difference in larval yield among these three treatments ($P>0.05$), but they were collectively significantly higher than those of the other five treatments ($P<0.05$). The soybean yield was 142.50 g/m², significantly lower than the control group yield of 210.33 g/m² ($P<0.05$). **[Conclusion]** Larvae performed well at a density of 30 eggs/m², which is consistent with the market demand. The results provide a theoretical basis and technical guidance for the artificial culture of *Clanis bilineata*.

Key words *Clanis bilineata*; hanging density of eggs; larval growth and development; production

豆天蛾 *Clanis bilineata* Walker 属鳞翅目 Lepidoptera 天蛾科 Sphingidae 云纹天蛾亚科 Ambulicinae 豆天蛾属 *Clanis* (席景会等, 2000)。1 年发生 1-2 代 (河北、山东、江苏及安徽 1 年发生 1 代, 湖北武昌及江西南昌 1 年发生 2 代) (田华和张义明, 2009; 樊继伟等, 2019)。其幼虫俗称豆丹、豆虫 (闫茂华, 2001), 主要寄主为大豆、洋槐、刺槐、藤萝及葛属和黎豆属等植物 (吕飞等, 2006; 田华, 2009)。豆天蛾幼虫是大豆生产上的暴发性害虫, 初孵化幼虫有背光性, 白天潜伏叶背, 夜间取食, 阴天整日为害。1-2 龄幼虫咬食叶缘成缺刻, 一般不迁移; 3-4 龄幼虫食量大增, 也可转株为害; 5 龄幼虫是暴食阶段, 约占幼虫期食量的 90% (刘志红等, 2005)。每年的 7-8 月份因降水充沛, 往往会导致豆天蛾幼虫的为害加重 (吕飞等, 2006)。

豆天蛾幼虫一般作为农业害虫进行防治, 然而随着对其的深入研究, 豆天蛾幼虫具有较高的蛋白质、必需氨基酸及必需脂肪酸 (李梦楼等, 2006; 詹永成等, 2009; 田华和张义明, 2012a)。在山东南部和江苏北部, 豆天蛾幼虫早已成为人们餐桌上的美味 (吴福中等, 2005)。在医药方面, 豆天蛾幼虫具有降血压和血脂作用, 对高血压、冠心病及肠胃病也有独特的疗效 (田华和张义明, 2012b, 2012c)。近年来, 随着相关产业的迅速发展, 市场上对豆天蛾的需求迅速扩大。这就使得养殖企业不断增加, 养殖技术不断提高, 豆天蛾幼虫产量不断扩大, 产业经济规模日

益增长。因此, 豆天蛾幼虫具有广阔的发展前景 (孙中伟等, 2019)。与此同时, 豆天蛾幼虫人工养殖产业的发展面临着诸多困难。如各养殖企业仅凭经验进行养殖, 缺乏标准的可参考的技术指导, 导致豆天蛾幼虫死亡率高、生产成本增加及利润较低等问题 (田华和张义明, 2009; 樊继伟等, 2019)。在豆天蛾人工养殖技术的关键是如何将大田大豆叶片最大化利用, 若挂卵密度较小, 则幼虫生长至 5 龄时仍有叶片剩余; 若挂卵密度过大, 则幼虫未至 5 龄时会因豆叶不足而死亡。目前, 国内外对最适养殖密度仅有少量报道, 汪西强等 (2002) 在对大豆产量影响较小的前提下, 提出豆天蛾幼虫适宜养殖密度为 10 头/m²。豆天蛾幼虫在实际养殖中往往会因环境因素带来较大的损失, 因此, 需考虑环境因素造成的幼虫产量减产问题开展豆天蛾卵最适挂卵密度的研究, 此举对人工养殖豆天蛾才更具有指导意义。

在大豆种植密度一定的情况下, 本研究通过比较不同挂卵密度对豆天蛾幼虫的存活率、体长和体重、幼虫产量和大豆产量等指标的影响, 筛选最佳的挂卵密度, 为标准化、规模化豆天蛾幼虫养殖提供理论基础和技术保障。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和植物

供试的豆天蛾卵购自江苏省农垦集团云台

分公司。供试大豆品种为瑞豆一号(连云港市丰源种业有限公司)。

1.2 供试药剂

所用豆天蛾卵的消毒剂为甲醛溶液,浓度为48%(济南润辉化工有限公司);所需杀虫剂为敌敌畏(南通江山农业化工股份有限公司)和吡虫啉(苏农广德生物科技有限公司);杀菌剂为多菌灵(苏农广德生物科技有限公司);杀螨剂为哒螨灵(山东省青岛金正农药有限公司);除草剂为民丰好帮手(山东省天润化工有限公司)。

1.3 仪器和设备

本试验所需仪器设备为恒温培养箱(上海一恒科学仪器有限公司);千分之一电子天平(上海米青科实业有限公司);大豆脱粒机(曹县鲁曹高新机械制造有限公司);50 kg 电子秤(深圳市顶尖托普有限公司)。

1.4 大豆种植及管理

2020 年 6 月初,选择土壤肥沃、疏松,排灌两便的田地,无农药污染且生态环境良好。将土壤与肥料按一定比例配制后,喷洒少量清水使土壤潮湿,再用薄膜覆盖封严,2 d 后即可进行播种。选用经过晾晒(非曝晒)2-3 d 的种子,并用毒死蜱进行药剂拌种;使用播种器播种,行距为 40 cm,株距为 20 cm。在两片对生单叶展开至一片复叶展开前,进行人工间苗,间去弱苗、病苗和杂苗,留大苗、壮苗和纯苗,按计划密度一次定苗,每穴 2-3 苗。

待大豆苗生长 10 d 左右开始搭建防虫网。选用长方形地块(南北 × 东西 = 44 m × 17 m)作为试验用地,南北方向和东西方向每 5 m 插竹竿,将竹竿插入地下 0.5 m 深,地上部分竹竿高 2.5 m,而后在试验地块上以竹竿为支架,整体覆盖防虫网,防虫网四周埋入地下 0.3 m,防止外界对豆天蛾幼虫生长的干扰。大豆苗生长 15 d 左右开始分别喷施除草剂、杀虫剂及杀菌剂,直至大豆苗生长 20 d,以防农药残留对豆天蛾幼虫生长造成影响。当大豆苗生长至 40 d 左右时,大豆叶片较为成熟,即可开始挂豆天蛾卵。

1.5 豆天蛾卵的处理

豆天蛾采集于江苏省连云港市云台农场。将当日羽化的豆天蛾成虫放入交配笼中(1 m × 1 m × 1 m),每个交配笼放入雌雄成虫各 100 头,观察交配行为。待成虫产卵后,收集豆天蛾卵,并置于恒温培养箱中 25 °C 保存 4 d 后,每 40 粒卵放入 1 个小网袋中(长 × 宽 = 20 cm × 15 cm,一端开口,网径 0.1 mm),并置于甲醛与清水按 1:10 配制的消毒液中浸泡 30 min,之后用清水冲洗,直至无甲醛残留,最后用吸水纸吸干网袋水分后置于恒温培养箱中培养。

1.6 田间挂卵密度的设置

待大豆种植 40 d 后,将培养箱中培养 6 d 的豆天蛾卵悬挂于田间。将试验地(长×宽=44 m × 17 m)分为南北 × 东西 = 4 m × 5 m 小区共 27 个,每个小区之间间距 1 m,小区之间用 1.5 m 高的防虫网隔开。试验共设置挂卵密度为 10、20、30、40、50、60、70 和 80 粒/m²,以不放卵的小网袋为对照。处理和对照分别作 3 个小区重复,在 27 个小区内随机排列。8 个处理和对照对应的每个小区挂卵量分别为 200、400、600、800、1 000、1 200、1 400、1 600 和 0 粒,为防止卵粒在大豆叶片上脱落,须用小网袋挂卵,每个小网袋中可装 40 粒卵,8 个处理和对照在每个重复小区内的卵先装入小网袋后再将小网袋均匀分布悬挂在对应小区内。挂卵时每个小网袋套入 3 片大豆叶,系紧小网袋口。待卵孵化 7 d 后打开小网袋口,使豆天蛾幼虫可在大豆植株间自由转移,直至幼虫 25 日龄时,统计幼虫已成熟可收获的数量,若幼虫在 25 日龄之前将豆叶全部取食则收集。同时记录每个处理幼虫日龄、每个小区幼虫总重;在每个小区随机抽取 30 头幼虫,测量每头幼虫体长和体重;统计每个小区幼虫数,计算幼虫存活率。待大豆成熟后,对各小区大豆分别进行脱粒、去杂,测定各小区大豆总重,记录。

幼虫存活率(%) = 各小区幼虫存活数/各小区卵粒数 × 100。

1.7 数据处理与分析

本试验获得的数据主要有幼虫日龄、幼虫存活率、幼虫体长和体重、幼虫产量和大豆产量等,均由 SPSS 17.0 统计分析软件进行处理,采用 One-way ANOVA 方差分析进行差异显著性比较。幼虫存活率间的比较首先进行反正弦平方根转换,然后采用 Duncan's 新复极差法进行不同处理之间差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 豆天蛾挂卵密度对幼虫日龄和存活率的影响

豆天蛾卵不同挂卵密度对幼虫日龄和存活率的影响如表 1 所示。幼虫收集时日龄随着挂卵密度的增加而减少。密度为 10、20 和 30 粒/m² 的幼虫日龄相同且最大,为 25 日龄。而密度为 70 粒/m² 和 80 粒/m² 时,幼虫日龄最小,均为 20 日龄。幼虫存活率随着挂卵密度增加出现先降低后增长而后又降低的趋势。存活率最大的是挂卵密度为 30 粒/m²,达 58.44%;其次分别为

表 1 豆天蛾挂卵密度对幼虫日龄及存活率的影响

Table 1 Effects of hanging density of eggs on larval age and survival rate of *Clanis bilineata*

挂卵密度 (粒/m ²) Hanging density of eggs per m ²	幼虫日龄 (d) Larval age (d)	存活率 (%) Survival rate (%)
10	25	58.33±2.06a
20	25	55.56±2.01a
30	25	58.44±1.67a
40	24	52.33±2.54a
50	23	44.77±2.27b
60	22	31.19±1.48c
70	20	31.62±2.12c
80	20	32.46±0.62c

数据为平均数±标准误; 同列数据后标有不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著 ($P<0.05$)。表 2 同。

Data are mean±SE, and followed by different letters in the same column indicate significant differences by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$). The same as table 2.

挂卵密度为 10、20 和 40 粒/m², 幼虫存活率分别为 58.33%、55.56%和 52.33%。4 个处理的幼虫存活率无显著性差异 ($P>0.05$), 但均显著高于其他处理的幼虫存活率 ($P<0.05$)。

2.2 豆天蛾挂卵密度对幼虫体重和体长的影响

不同挂卵密度对豆天蛾幼虫的体重和体长产生影响 (表 2)。挂卵密度为 10 粒/m² 和 30 粒/m² 的幼虫体长最长, 分别为 8.09 cm, 其次为处理 20 粒/m² 和 40 粒/m², 幼虫体长分别为 8.01 cm 和 7.83 cm, 且它们之间的幼虫体长无显著差异 ($P>0.05$), 但均大于其它密度处理的; 挂卵密度为 20 粒/m² 的幼虫体重最大, 达到 9.39 g, 其次是挂卵密度为 30 粒/m² 和 10 粒/m² 的, 幼虫体重分别为 9.35 g 和 9.17 g, 3 个处理的幼虫体重无显著差异 ($P>0.05$), 但均显著大于其它 5 个挂卵密度的幼虫体重 ($P<0.05$)。

表 2 豆天蛾挂卵密度对幼虫体重和体长的影响

Table 2 Effects of hanging density of eggs on larval weight and length of *Clanis bilineata*

挂卵密度 (粒/m ²) Hanging density of eggs per m ²	幼虫体长 (cm) Length of larvae (cm)	幼虫体重 (g) Weight of larvae (g)
10	8.09±0.20a	9.17±0.18a
20	8.01±0.18a	9.39±0.43a
30	8.09±0.04a	9.35±0.14a
40	7.83±0.08a	8.10±0.14b
50	7.42±0.06b	7.42±0.13bc
60	7.38±0.13b	7.12±0.38c
70	6.58±0.11c	6.12±0.13d
80	6.18±0.13d	5.26±0.15e

2.3 豆天蛾挂卵密度对幼虫产量的影响

不同豆天蛾挂卵密度对豆天蛾幼虫产量的影响如图 1 所示。豆天蛾幼虫产量随着挂卵密度的增加呈先增加后减少的趋势。挂卵密度为 30 粒/m² 的幼虫产量最高, 达 158.00 g/m²; 其次为 40 粒/m² 和 50 粒/m² 的, 豆天蛾幼虫产量分别为 153.00 g/m² 和 140.17 g/m²。3 个处理的豆天蛾幼虫产量间无显著性差异 ($P>0.05$), 但均显著高

于其它 5 个处理 ($P < 0.05$)。豆天蛾幼虫产量由豆天蛾幼虫数量和各豆天蛾幼虫的质量决定。挂卵密度为 10 粒/ m^2 和 20 粒/ m^2 的豆天蛾幼虫平均质量为 9.17 g 和 9.39 g, 与挂卵密度 30 粒/ m^2 的豆天蛾幼虫平均质量 (9.35 g) 无显著差异 (表 2), 但因 10 粒/ m^2 和 20 粒/ m^2 两组处理的豆天蛾幼虫存活数较少, 仅为 350 头和 666 头, 远小于处理 30 粒/ m^2 的 1 052 头, 最终导致豆天蛾幼虫产量显著低于挂卵密度为 30、40 和 50 粒/ m^2 。挂卵密度为 60、70 和 80 粒/ m^2 的豆天蛾幼虫数量分别为 1 123、1 328 和 1 558 头, 大于处理 30 粒/ m^2 的数量。但因豆天蛾幼虫平均质量显著小于处理 30 粒/ m^2 (表 2), 最终导致处理 60、70 和 80 粒/ m^2 豆天蛾幼虫产量仅为 113.67、96.33 和 92 g/ m^2 , 显著低于处理 30、40 和 50 粒/ m^2 的产量。

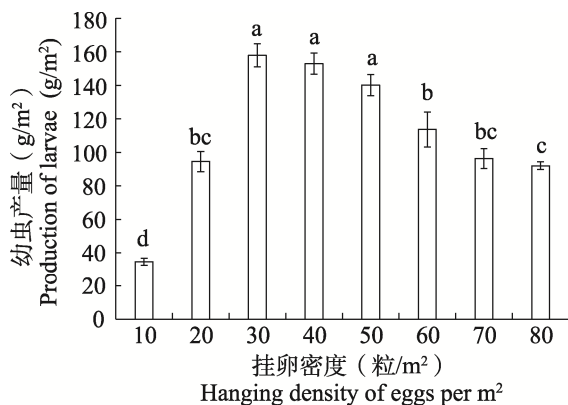


图 1 豆天蛾挂卵密度对豆天蛾幼虫产量的影响

Fig. 1 Hanging density of eggs on larval production of *Clanis bilineata*

图中柱上标有不同小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。下图同。

Histograms with the different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$). The same below.

2.4 豆天蛾挂卵密度对大豆产量的影响

豆天蛾挂卵密度对大豆产量的影响如图 2 所示。随着豆天蛾卵密度的增加, 每平方米大豆产量逐渐减少。在未悬挂豆天蛾卵条件下 (对照), 大豆产量达到最大, 为 210.33 g/ m^2 ; 其次为挂卵密度为 10 粒/ m^2 , 大豆产量为 197.33 g/ m^2 。对照与挂卵密度为 10 粒/ m^2 的大豆产量无显著

性差异 ($P > 0.05$), 但均高于其它 7 个挂卵密度的大豆产量 ($P < 0.05$)。挂卵密度为 30、40 和 50 粒/ m^2 的大豆产量分别为 142.50、140.67 和 134.00 g/ m^2 , 且三者的大豆产量差异不显著 ($P > 0.05$), 而当豆天蛾卵密度进一步增加后, 大豆产量则显著减少 ($P < 0.05$)。

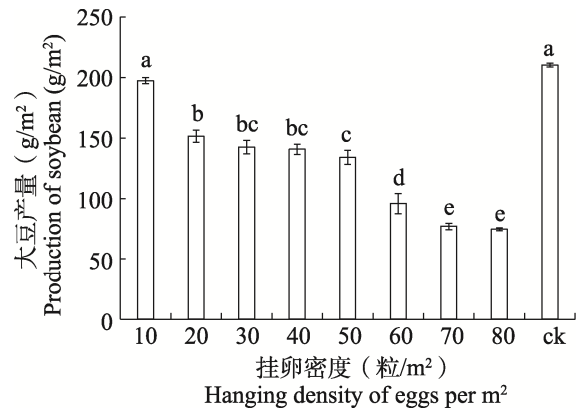


图 2 豆天蛾挂卵密度对大豆产量的影响

Fig. 2 Hanging density of eggs on soybean production of *Clanis bilineata*

3 讨论

本研究通过比较豆天蛾卵不同挂卵密度对豆天蛾幼虫的存活日龄、存活率、体长、体重和产量指标的影响, 并综合评价豆天蛾卵在不同密度下对豆天蛾幼虫品质和产量的影响。研究结果表明, 当卵密度为 30 粒/ m^2 时, 豆天蛾幼虫可在寄主大豆上存活 25 日, 幼虫存活率、体长及豆天蛾幼虫产量在 8 个处理间均达到最大值, 体重参数也表现优秀, 综合以上指标表明, 密度为 30 粒/ m^2 为豆天蛾幼虫人工养殖最适挂卵密度。

在豆天蛾幼虫人工养殖过程中, 卵投放密度须与大豆叶片量相匹配。汪西强等 (2002) 研究表明, 豆天蛾幼虫在进入 5 龄后就开始进入暴食期。本研究中不同处理的豆天蛾幼虫在 20 日龄之前因食量小, 仅少量取食大豆叶片, 而在 20 日龄左右时, 幼虫已进入 5 龄阶段, 食量增加, 大豆叶片迅速被取食殆尽。这就造成了豆天蛾幼虫卵密度越大时, 幼虫到收获时的日龄越小, 最终导致豆天蛾幼虫生长不完全, 出现收获时体长和体重偏小的情况。而在市场上, 体长和体重较

小的幼虫不利后续的加工和销售,在市场上无价格优势。若将豆天蛾幼虫转移至其他大豆田继续生长时,因人为触碰等因素的干扰,豆天蛾幼虫死亡率会增加。因此,在人工养殖中,合理的挂卵密度显得尤为重要。

本研究结果表明,豆天蛾幼虫存活率随着挂卵密度的增加呈先减小后增加又减小的趋势。当挂卵密度为 10-40 粒/m² 时,幼虫的存活率差异不显著;而当卵密度大于 40 粒/m² 时,幼虫存活率显著降低。当挂卵密度过高时,豆天蛾幼虫在生长后期因食物的竞争,导致部分豆天蛾幼虫因缺乏营养而死亡;当豆天蛾幼虫密度较高时,个体之间接触几率增加,这就会导致豆天蛾幼虫病害的传播。豆天蛾幼虫在感染核型多角体病毒后,一般会爬至大豆植株顶部而后出现虫体倒挂的现象 (Zhu *et al.*, 2009; 朱姗姗等, 2014)。在本试验中,卵密度越大出现豆天蛾幼虫倒挂的现象越多;此外,当豆天蛾幼虫密度过大时,对氧气需求量和二氧化碳的排放均增大,由于豆天蛾幼虫在防虫网覆盖的大豆田中养殖,大豆植株间的空气流动性较差导致不能及时平衡氧气和二氧化碳浓度,而二氧化碳浓度过高对昆虫具有毒性 (Annis and Morton, 1997)。Tanaka (1982) 研究表明, 70% 的二氧化碳浓度下对德国小蠊 *Blattella germanica* 具有麻醉作用,还能明显改变初龄幼虫的蜕皮次数。因此,氧气含量的减少或二氧化碳浓度的增加也是导致豆天蛾幼虫死亡的可能原因之一。在下一步研究中,首先要研究核型多角体病毒在豆天蛾幼虫群体的传播途径、致病力和防治方法,以减小豆天蛾幼虫养殖过程中因病害而造成的产量损失;其次,探究不同氧气浓度和二氧化碳浓度对豆天蛾幼虫生长的影响,为豆天蛾养殖企业提供技术参考。

通过研究不同挂卵密度对豆天蛾幼虫的生长发育和大豆产量的影响,提出了最适挂卵密度,为提高豆天蛾卵的利用率、豆天蛾幼虫品质和质量,以减小养殖成本,增加养殖收益,对豆天蛾的人工养殖具有重要意义。此外,因各地大豆种植密度各有差异,下一步建议结合本研究成果,探究在大豆不同种植密度下的最适挂卵密

度,为形成豆天蛾技术参考。在豆天蛾幼虫人工养殖过程中,仍有许多难题亟待解决。如,如何通过虫卵消毒的方法消除豆天蛾卵表面的致病微生物,从而提高豆天蛾卵孵化率;如何综合运用物理防治和生物防治等手段防治豆天蛾幼虫养殖过程中其他害虫的干扰而又对豆天蛾幼虫的影响达到最小等。诸多难点的突破,将进一步地减小养殖损失和成本,对产业的良好发展起到巨大的推动作用。

参考文献 (References)

- Annis PC, Morton R, 1997. The acute mortality effects of carbon dioxide on various life stages of *Sitophilus oryzae*. *Journal of Stored Products Research*, 33(2): 115-124.
- Fan JW, Sun ZW, Li Q, Wang KJ, Zhang GX, Zhao XJ, Chen F, Guo MM, 2019. Advances in research on biological characteristics and application of Lianyungang population of *Clanis bilineata tsingtauca*. *Agricultural Development and Equipment*, 2019(2): 170-172. [樊继伟, 孙中伟, 李强, 王康君, 张广旭, 赵雪君, 陈凤, 郭明明, 2019. 豆天蛾连云港种群生物学特性及应用研究进展. 农业开发与装备, 2019(2): 170-172.]
- Li ML, Li SM, Wang D, Liu RP, 2006. Fatty acid composition and contents of five insect species. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(2): 226-228. [李梦楼, 李生梅, 王敦, 刘汝平, 2006. 5 种昆虫脂肪酸组分与含量分析. 昆虫知识, 43(2): 226-228.]
- Liu ZH, Li GT, Wu FZ, Wu ZT, 2005. Research progress of *Clanis bilineata* (Walker). *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2005 (6): 1101-1102. [刘志红, 李桂亭, 吴福中, 吴振廷, 2005. 豆天蛾的研究进展. 安徽农业科学, 2005(6): 1101-1102.]
- Lv F, Liu YS, Wang ZP, Zhang XB, 2006. Advances in production and comprehensive utilization of *Clanis bilineata tsingtauca*. *Entomological Journal of East China*, 15(3): 192-195. [吕飞, 刘玉升, 王振鹏, 张秀波, 2006. 豆天蛾生产与综合利用的研究进展. 华东昆虫学报, 15(3): 192-195.]
- Sun ZW, Fan JW, Wang KJ, Li Q, Guo MM, Zhang GX, Chen F, 2019. The present situation and prospect of larval culture of *Clanis bilineata tsingtauca*. *Agricultural Development and Equipment*, 2019(5): 64-67. [孙中伟, 樊继伟, 王康君, 李强, 郭明明, 张广旭, 陈凤, 2019. 豆天蛾幼虫养殖现状与展望. 农业开发与装备, 2019(5): 64-67.]
- Tanaka A, 1982. Effects of carbon-dioxide anaesthesia on the number of instars, larval duration and adult body size of the German cockroach, *Blattella germanica*. *Journal of Insect Physiology*, 28(10): 813-821.

- Tian H, 2009. Integrated control measures to the harms of soybean pest *Clanis bilineata tsingtauca*. *Journal of Nanyang Normal University*, 8(6): 58–60. [田华, 2009. 大豆害虫豆天蛾的危害与综合防治. 南阳师范学院学报, 8(6): 58–60.]
- Tian H, Zhang YM, 2009. Advances of integrated utilization on resource insect *Clanis bilineata tsingtauca*. *Guizhou Agricultural Sciences*, 37(6): 111–113. [田华, 张义明, 2009. 资源昆虫豆天蛾综合利用研究进展. 贵州农业科学, 37(6): 111–113.]
- Tian H, Zhang YM, 2012a. Amino acids and fatty acids analysis and evaluation of *Clanis bilineata tsingtauca*. *Food Science and Technology*, 37(5): 68–70, 73. [田华, 张义明, 2012a. 豆天蛾氨基酸及脂肪酸分析与评价. 食品科技, 37(5): 68–70, 73.]
- Tian H, Zhang YM, 2012b. The anti-oxidant activity of polysaccharide CBP3 in *Clanis bilineata tsingtauca*. *Food Science and Technology*, 37(6): 228–231. [田华, 张义明, 2012b. 豆天蛾多糖 CBP3 抗氧化活性研究. 食品科技, 37(6): 228–231.]
- Tian H, Zhang YM, 2012c. The nutritional components analysis and evaluation of *Clanis bilineata tsingtauca*. *Acta Nutrimenta Sinica*, 34(3): 289–291. [田华, 张义明, 2012c. 豆天蛾主要营养成分分析及营养评价. 营养学报, 34(3): 289–291.]
- Wang XQ, Chen CQ, Zhao H, 2002. Rearing *Clanis bilineata tsingtauca* in soybean field and its profit. *Entomological Knowledge*, 39(1): 30–33. [汪西强, 陈春秋, 赵虎, 2002. 豆天蛾的田间饲养量及效益研究. 昆虫知识, 39(1): 30–33.]
- Wu FZ, Lin HF, Liu ZH, Hu C, 2005. The situation and tactics of the utilization of *Tenebrio molitor*'s production in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005(8): 1–4. [吴福中, 林华峰, 刘志红, 胡萃, 2005. 中国黄粉虫产品开发利用的现状及其对策. 中国农学通报, 2005(8): 1–4.]
- Xi JH, Chen YJ, Zhang XR, 2000. A list of Sphingidae in Jilin province. *Journal of Jilin Agricultural University*, 22(2): 38–40. [席景会, 陈玉江, 张秀荣, 2000. 吉林省天蛾科昆虫名录. 吉林农业大学学报, 22(2): 38–40.]
- Yan MH, 2001. *Clanis bilineata tsingtauca*-feed. *Journal of Biology*, 18(2): 33. [闫茂华, 2001. 豆天蛾的人工饲养. 生物学杂志, 18(2): 33.]
- Zhan YC, Li T, Chang JX, 2009. Extraction of oil and analysis of fatty acid composition of *Clanis bilineata tsingtauca*. *Food and Nutrition in China*, 2009(2): 52–54. [詹永成, 刘涛, 常金秀, 2009. 豆天蛾中油脂的提取及脂肪酸组成分析. 中国食物与营养, 2009(2): 52–54.]
- Zhu SY, Wu XQ, Ge JJ, He HG, Wang WB, 2014. Functional analysis of photolyase genes from *Clanis bilineata* nucleopolyhedrovirus and *Theretra japonica* nucleopolyhedrovirus. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 30(6): 1299–1303. [朱姗姗, 吴晓倩, 葛娇娇, 何华纲, 王文兵, 2014. 豆天蛾核型多角体病毒和雀纹天蛾核型多角体病毒光解酶基因的功能鉴定. 江苏农业学报, 30(6): 1299–1303.]
- Zhu SY, Yi JP, Shen WD, Wang LQ, He HG, Wang Y, Bing L, Wang WB, 2009. Genomic sequence, organization and characteristics of a new nucleopolyhedrovirus isolated from *Clanis bilineata* larva. *BMC Genomics*, 10(1): 9.