



温度对豆卷叶螟 *Lamprosema indicata* (Fabricius) 生长发育的影响

李新畅, 崔娟, 徐伟, 高宇, 史树森

(吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118)

摘要:为探明温度对大豆主要害虫豆卷叶螟生长发育的影响,以大豆叶片为主要寄主饲料,研究了 19, 22, 25, 28, 31℃ 共 5 个恒温处理对豆卷叶螟不同虫态的发育历期、发育速率和存活率的影响。结果表明:在 19~31℃ 范围内,随着温度升高,各虫态的发育历期均缩短,发育速率与温度呈显著正相关。豆卷叶螟卵、幼虫、蛹、成虫和世代发育起点温度分别为 9.89, 10.90, 11.18, 19.57 和 13.49℃,有效积温依次为 75.16, 193.39, 98.59, 48.34 和 431.04 d·℃。豆卷叶螟种群存活曲线属于 Devey III 型,表现为卵期的高死亡率。这些结果为豆卷叶螟的预测预报提供了基础参考数据。
关键词:豆卷叶螟;发育历期;存活率;发育起点温度;有效积温

Effects of Temperature on Growth and Development of *Lamprosema indicata* (Fabricius)

LI Xin-chang, CUI Juan, XU Wei, GAO Yu, SHI Shu-sen

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: In order to ascertain the effect of temperature on the growth and development of *Lamprosema indicata* (Fabricius), a major pest on soybean, this study investigated the effects of five constant temperature (19, 22, 25, 28 and 31℃) on the developmental duration, developmental rate and survival rate of the pest with the soybean leaves as the main host diet. The results showed that within the range of 19–31℃, the developmental duration of various stages shortened with the increase of temperature, and the development rate was positively correlated with the temperature. The developmental threshold temperatures of the eggs, larvae, pupae, adults and the whole generations were 9.89, 10.90, 11.18, 19.57 and 13.49℃, the effective accumulative temperatures (EAT) were 75.16, 193.39, 98.59, 48.34 and 431.04 d·℃, respectively. The population survival curve of *M. vulgaris* belonged to Devey type III, showing a high mortality rate in the egg stage. These results provide basic reference data for the prediction of *L. indicata* (Fabricius).

Keywords: *Lamprosema indicata* (Fabricius); Developmental duration; Survival rate; Threshold temperature (EAT); Effective accumulative temperature

豆卷叶螟(*Lamprosema indicata* Fabricius),鳞翅目(Lepidoptera)螟蛾科(Pyrilidae),分布于东北、黄淮及南方地区^[1],是南方和黄淮大豆产区主要食叶性害虫^[2]在气候适宜的南方一年可发生6代以上^[3]。幼虫吐丝卷叶或缀叶使叶片形成卷包状并隐匿在其中,取食叶片,大豆植株难以正常进行光合作用,影响植株生长,从而导致豆田减产^[4]。豆卷叶螟偏好湿润气候,多发生在封垄的豆田,以及种植叶片茸毛稀少品种、宽叶品种、晚熟品种的豆田^[5]。目前国内有关豆卷叶螟的研究已有较多报道,生物学特征方面,吴梅香等^[6]2011 年对豆卷叶螟形态及生活习性进行详细描述;化学防治方面,在豆田出现卷叶时,喷施 1% 阿维菌素乳油 1 000 倍液、2.5% 溴氰菊酯 2 000 倍液等药剂可有效防控该虫^[7];抗虫品种筛选方面,龙丽萍等^[8]研究了豆卷叶螟对不同基因大豆品种适应性,其它研究结果显示不同品种的营养成分含量、叶片物理结构对豆卷

叶螟有一定的影响^[9]。国外关于该虫报道较少,仅见印度有豆卷叶螟是主要大豆害虫的报道^[10]。迄今为止,有关豆卷叶螟生长发育对环境温度适应性的研究尚未见报道。

温度是昆虫生长发育重要的环境调控因子^[11],其生命活动有重要的作用^[12]。昆虫不能通过自身调节适应外界温度,因此,研究温度对豆卷叶螟世代生活的作用,明确其发育起点温度、有效积温,对预测其幼虫危害发生期进而适时提前防控具有重要意义。本试验研究温度对豆卷叶螟发育历期、发育速率、存活率的影响,以期为科学防控豆卷叶螟提供生态学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 寄主 寄主材料为大豆盆栽植株及新鲜叶片,品种为吉农 18。

收稿日期:2018-03-29

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-04)。

第一作者简介:李新畅(1995-),女,硕士,主要从事害虫综合治理研究。E-mail:1281747498@qq.com。

通讯作者:史树森(1963-),男,教授,博导,主要从事农业害虫综合治理与昆虫资源利用研究。E-mail:sss-63@263.net。

1.1.2 虫源 供试虫源采自海南三亚,在室内条件下建立其实验种群。选取健康活泼的雌雄成虫,放入内置盆栽大豆的养虫笼(50 cm × 50 cm × 50 cm),饲喂 10% 蜂蜜水以补充营养。待成虫交尾后,产卵于叶片上,收集当天带有新鲜卵块的叶片备用。

1.1.3 试验器材 试验采用 RXZ430E 智能人工气候箱(宁波江南仪器厂)控制温湿度及光照条件,养虫设备材料包括小型养虫罐(直径 10 cm,高 14 cm)、玻璃培养皿(直径 10 cm)、塑料培养皿(直径 6 cm)、毛笔、脱脂棉、滤纸等。

1.2 方法

1.2.1 温度处理与生长观察 试验设置 19,22,25,28 和 31℃ 5 个温度(波动范围 ± 1℃)处理,光周期为光照:黑暗 = 16 h:8 h,相对湿度为 80% ± 5%,光照强度为 3 500 lx。

在 5 个温度处理条件下,取带新鲜卵块(12 h 内)的叶片,用浸水的脱脂棉包住叶柄保湿,放于玻璃培养皿(直径 10 cm)中,内置湿润滤纸片保湿。每个处理放置不少于 100 粒卵,重复 3 次。在卵孵化的同时,将初孵幼虫用毛笔轻轻挑入塑料培养皿(直径 6 cm)中单头饲养,培养皿内置湿润滤纸片、新鲜大豆叶片。待成虫羽化后,将成虫移入小型养虫罐中饲喂 10% 蜂蜜水。每 12 h 观察 1 次,记录卵孵化、幼虫脱皮、化蛹、羽化的时间和数量以及成虫的存活情况。

1.2.2 发育速率与环境温度关系分析 将不同温度处理下豆卷叶螟卵、各龄幼虫、预蛹和蛹期的发育历期进行加权平均,以此求出各虫态的发育历期 N ,并将其转为相对应温度下的发育速率 V ($V = 1/N$),再运用 DPS 软件建立发育速率(V)与温度(T)的回归模型,根据 R 和 F 值进行差异显著性分析,选择拟合程度最好的方程。

1.2.3 发育起点温度和有效积温计算 应用直线回归法^[13-14],计算豆卷叶螟各虫态的发育起点温度 C 和有效积温 K 。

直线回归法计算公式:

$$C = \frac{\sum V^2 \sum T - \sum V \sum VT}{n \sum V^2 - (\sum V)^2};$$
$$K = \frac{n \sum VT - \sum V \sum T}{n \sum V^2 - (\sum V)^2};$$
$$S_c = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{(n - 2)} \left[\frac{1}{n} + \frac{V^2}{\sum (V - \bar{V})^2} \right]};$$
$$S_k = \sqrt{\frac{\sum (T - T')^2}{(n - 2) \sum (V - \bar{V})^2}};$$

式中: T 为试验温度, V 为发育速率, \bar{V} 为平均发育速率, T' 为理论温度, n 为处理数, S_c 和 S_k 分别为发育起点温度 C 和有效积温 K 的标准差。

1.3 数据分析

使用 Excel 2013 进行数据整理,利用 DPS 9.1 统计软件采用 Duncan 氏新复极差法对发育历期、存活率等数据进行多重比较。方程拟合模型利用 Matlab 绘制。

2 结果与分析

2.1 温度对豆卷叶螟发育历期的影响

豆卷叶螟各虫态发育历期如表 1 所示。在 19 ~ 31℃ 范围内,由卵均能羽化为成虫,其发育历期呈随温度升高而缩短的趋势,温度处理间存在一定差异。幼虫发育历期在 5 个温度下彼此差异显著($P < 0.05$);19℃ 时,预蛹发育历期为 1.97 d,显著长于其它几个温度处理;蛹发育历期在 19,22,25℃ 下差异显著,但 25 ~ 31℃ 下并无显著差异($P > 0.05$);温度对成虫影响比较明显,在 19 ~ 31℃ 差异显著,研究表明,成虫不适宜在高温条件下生活,31℃ 下成虫寿命仅为 3.83 d;世代历期在各个温度下彼此差异显著($P < 0.05$)。

幼虫各龄期如表 2 所示。研究表明,豆卷叶螟各龄幼虫在 19℃ 下发育最慢,历期最长;在 31℃ 下生长最快,发育历期最短。

表 1 不同温度下豆卷叶螟各虫态发育历期
Table 1 Measured developmental duration of *Lamprosema indicata* Fabricius at different temperature

发育阶段 Developmental stage	历期 Period/d				
	19℃	22℃	25℃	28℃	31℃
卵期 Egg	7.95 ± 1.11 a	6.83 ± 0.51 a	4.40 ± 0.55 b	4.15 ± 0.93 b	3.79 ± 0.53 b
幼虫期 Larva	25.10 ± 0.98 a	17.06 ± 0.99 b	13.25 ± 0.42 c	11.10 ± 0.51 d	9.98 ± 0.49 e
预蛹期 Prepupa	1.97 ± 0.04 a	1.73 ± 0.09 b	1.28 ± 0.05 c	1.09 ± 0.12 d	1.04 ± 0.08 d
蛹期 Pupa	13.15 ± 0.66 a	8.83 ± 0.40 b	5.83 ± 0.69 c	6.20 ± 0.37 c	5.58 ± 0.21 c
成虫期 Adult	23.99 ± 3.35 a	19.09 ± 2.56 b	12.13 ± 4.12 c	7.95 ± 1.95 cd	3.83 ± 0.62 d
世代 Generation	72.16 ± 4.02 a	53.54 ± 2.53 b	36.89 ± 3.36 c	30.49 ± 1.34 d	24.22 ± 1.09 e

同列不同字母表示在 $P \leq 0.05$ 水平上差异显著,下同。
Different letters in the same column mean significantly different at $P \leq 0.05$ level, the same as below.

表 2 不同温度下豆卷叶螟幼虫各龄期发育历期

Table 2 Measured developmental duration of <i>Lamprosema indicata</i> Fabricius larva at different temperature					
发育阶段	历期 Period/d				
Developmental stage	19℃	22℃	25℃	28℃	31℃
1 龄 1 st instar	4.75 ± 1.23 a	4.16 ± 0.37 a	2.94 ± 0.30 b	2.22 ± 0.21 b	2.04 ± 0.58 b
2 龄 2 nd instar	7.22 ± 0.75 a	3.74 ± 0.22 b	2.63 ± 0.18 c	2.34 ± 0.18 c	2.29 ± 0.15 c
3 龄 3 rd instar	5.17 ± 0.23 a	3.31 ± 0.27 b	2.63 ± 0.31 c	2.34 ± 0.30 cd	2.12 ± 0.34 d
4 龄 4 th instar	5.05 ± 0.19 a	3.02 ± 0.15 b	2.46 ± 0.22 c	2.18 ± 0.16 c	2.12 ± 0.45 c
5 龄 5 th instar	2.91 ± 0.39 a	2.83 ± 0.27 a	2.59 ± 0.49 a	2.02 ± 0.23 b	1.41 ± 0.28 c

2.2 豆卷叶螟发育速率与温度的关系

豆卷叶螟各虫态发育速率与温度间拟合曲线如图 1 所示。在一定温度范围内,卵期和全世代发育速率与温度呈线性函数,卵期 $y = 0.0132x - 0.1076$,全世代 $y = 0.0016x - 0.0205$,直线回归模型拟合程度最好;其余各时期均呈非线性模型,幼虫期、蛹期预测模型符合逻辑斯蒂曲线模型,分别是 $y = 0.1126/[1 + \exp(-0.2214x + 4.8118)]$, $y = 0.1792/[1 + \exp(-0.3881x + 7.7618)]$;成虫期预测模型适合指数函数曲线模型 $y = 0.0007\exp(0.1890x)$ 。各龄幼虫发育速率与温度拟合结果见

图 2。其中 1 龄幼虫预测模型为幂函数曲线模型 $y = 0.0008x^{1.882}$;2~4 龄幼虫函数曲线为逻辑斯蒂曲线模型,分别为 $y = 0.4484/[1 + \exp(-0.4195x + 8.7959)]$ 、 $y = 0.4927/[1 + \exp(-0.2697x + 5.5331)]$ 、 $y = 0.4783/[1 + \exp(-0.3725x + 7.4162)]$,5 龄幼虫预测模型为指数函数曲线模型 $y = 0.0751\exp(0.0702x)$ 。从发育速率与温度拟合曲线分析得出,在一定温度范围内,随着温度的升高,豆卷叶螟发育加快,各个虫态发育加快,完成一个世代的时间减短。

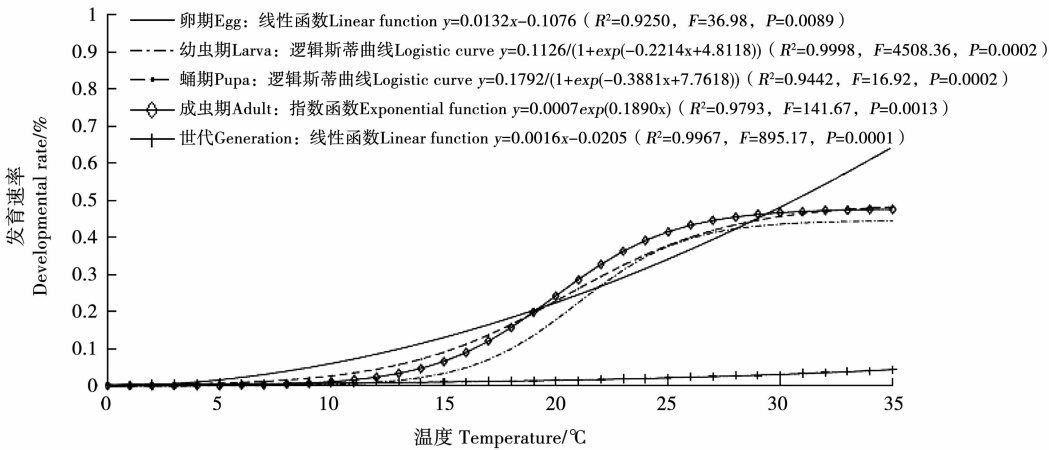


图 1 豆卷叶螟各虫态发育速率与温度的预测模型

Fig. 1 Forecast models of temperature and developmental rate of *Lamprosema indicata* Fabricius

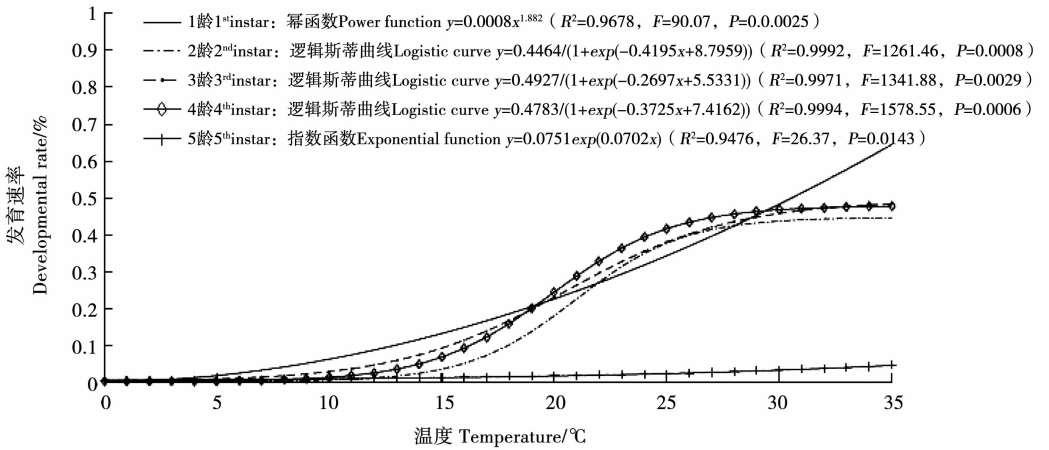


图 2 豆卷叶螟 1~5 龄幼虫发育速率与温度的预测模型

Fig. 2 Forecast models of temperature and developmental rate of *Lamprosema indicata* Fabricius larvae

2.3 豆卷叶螟发育起点温度及有效积温

豆卷叶螟各虫态发育起点温度和有效积温见表 3,试验表明,豆卷叶螟各个虫态发育起点温度和有效积温各不相同。豆卷叶螟完成一个世代所需有效积温,为 431.04 d·℃,卵期为 75.16 d·℃,幼虫期为 193.39 d·℃,蛹期为 98.59 d·℃,成虫期所需有效积温较少,为 48.34 d·℃。卵期发育起点温度最低为 9.89℃,幼虫期及蛹期发育起点温度分别为 10.90 和 11.18℃,成虫期发育起点温度最高为 19.57℃。1~5 龄幼虫的发育起点温度和有效积温见表 4。1~5 龄幼虫有效积温分别为 37.07,35.39,42.41,27.82,28.22 d·℃;4 龄幼虫发育起点温度最高,为 15.16℃。

2.4 不同温度下豆卷叶螟试验种群的存活曲线

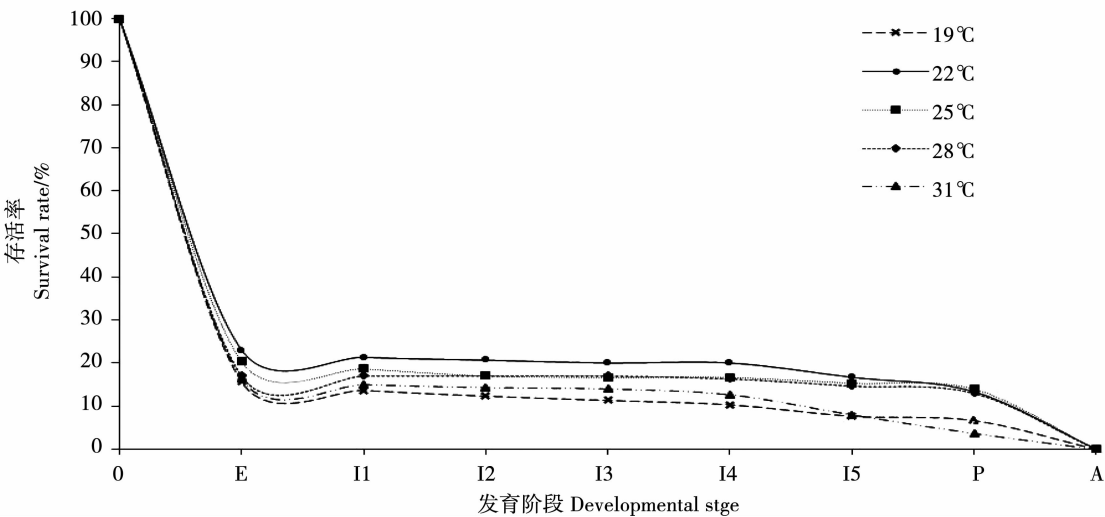
由图 3 可知,不同温度条件下豆卷叶螟种群存活曲线总体属于Ⅲ型存活曲线^[11]。在试验温度范围内,卵期孵化率很低,均低于 30%,导致种群数量急剧下降,最低降至 20% 以下,可见,卵期存活率是影响种群数量的关键虫态;幼虫期种群数量趋于平缓,可能与幼虫吐丝卷叶,藏匿其中,逐渐适应生存环境有关。在豆卷叶螟各龄期试验不同温度处理中,19 和 31℃ 存活率相对较低,22℃ 存活率最高,25 和 28℃ 存活率稍低于 22℃,且两者存活率比较近似。说明 22~28℃ 较利于豆卷叶螟种群存活。

表 3 豆卷叶螟各虫态的发育起点温度和有效积温
Table 3 Threshold temperature and effective accumulative temperature (EAT) for various development stages of *Lamprosema indicata* Fabricius

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度 Developmental zero/℃	有效积温 Effective accumulative temperature/(d·℃)
卵 Egg	9.89 ± 2.63	75.16 ± 12.64
幼虫期 Larva	10.90 ± 0.99	193.39 ± 12.99
蛹 Pupa	11.18 ± 3.70	98.59 ± 25.43
成虫期 Adult	19.57 ± 1.76	48.34 ± 12.77
世代 Generation	13.49 ± 0.68	431.04 ± 17.61

表 4 豆卷叶螟 1~5 龄幼虫的发育起点温度和有效积温
Table 4 Threshold temperature and effective accumulative temperature (EAT) for various development stages of *Lamprosema indicata* Fabricius larvae

发育阶段 Developmental stage	发育起点温度 Developmental zero/℃	有效积温 Effective accumulative temperature/(d·℃)
1 龄 1 st instar	12.27 ± 1.26	37.07 ± 3.50
2 龄 2 nd instar	13.33 ± 2.46	35.39 ± 7.06
3 龄 3 rd instar	9.96 ± 1.83	42.41 ± 4.97
4 龄 4 th instar	15.16 ± 2.94	27.82 ± 7.75
5 龄 5 th instar	12.11 ± 3.74	28.22 ± 7.84



E:卵期;I1~I5:1~5 龄幼虫期;P:蛹;A:成虫。
E: Egg; I1~I5: 1st~5th instar; P: Pupa; A: Adult.

图 3 不同温度下豆卷叶螟种群的存活率

Fig. 3 Survival rates of *Lamprosema indicata* Fabricius under different temperatures

3 讨论

昆虫对温度响应敏感^[12]。在试验条件下,豆卷叶螟发育历期随温度升高而减短的现象在其它昆虫上也有体现,例如栎黄枯叶蛾^[15]、尖锥额野

螟^[16]、紫斑谷螟^[17]、绿翅绢野螟^[18]、白眉野草螟^[19]、双斑长跗萤叶甲^[20]、牧草盲蝽^[21]等。豆卷叶螟卵发育速率与温度呈直线增长趋势,但 31℃ 时卵的孵化率显著低于其它温度,说明豆卷叶螟卵对高温比较敏感。卵的存活率均低于 30%,推测除温

度因子外可能还与湿度等其它环境因子有关。幼虫在 19℃ 存活率低于 31℃ 存活率,表明豆卷叶螟幼虫对低温更加敏感,同时证明了卵较幼虫更耐受低温。关于昆虫不同虫态对环境温度耐受性存在差异,在其它昆虫研究中也有报道,例如紫斑谷螟卵在温度较高时孵化率最高,25℃ 时幼虫和蛹发育最佳^[17];桃蛀螟卵在高温条件下存活率高于幼虫存活率^[22];在 31℃,大造桥虫卵可正常发育而 6 龄幼虫无法存活^[23]。蛹对温度响应敏感,温度较高和过低均不适宜蛹存活。在 31℃ 时成虫羽化率低,明显不利于豆卷叶螟生存;豆卷叶螟成虫寿命受温度影响显著。这种随着温度升高,成虫寿命减短的现象在紫斑谷螟^[17]、绿翅绢野螟^[18]、桃蛀螟^[22]、斑鞘豆叶甲^[24] 都有相关报道。

温度与昆虫发育速率关系模型常被应用于预测害虫的世代周期或某一虫态的发育历期。结合当地气候条件,利用昆虫发育起点温度和有效积温基础数据可以了解该种害虫的地理分布,还可以推算害虫在某一地区的发生代数^[25],例如国槐尺蠖,根据其试验求得的有效积温和发育起点温度,推断在沈阳可发生 3.4~3.6 代,基本与实际发生代数一致^[26]。根据本研究结果,按世代发育起点温度 13.49℃ 计算海南三亚全年有效积温为 4 241.04 d·℃,根据推算公式: $M = K1/K$ (M 代表年发生世代数, $K1$ 代表某地全年有效总积温, K 代表某虫种完成一代所需的有效积温)^[18],可推算出三亚地区豆卷叶螟理论发生代数为 9.81 代。梨小食心虫^[27]、桃小食心虫^[28]、金银花尺蠖^[29]、灰飞虱^[30]、柳蓝叶甲^[31] 等均应用有效积温法推算了其在某一发生区域的理论发生代数。本研究结果可为推测豆卷叶螟田间发生期、发生世代及分布区域范围提供科学依据。

4 结 论

19~31℃ 范围内,豆卷叶螟发育期随温度升高而减短。各虫态发育速率与温度拟合函数为:卵期符合线性函数,幼虫期符合逻辑斯蒂曲线函数,蛹期符合逻辑斯蒂曲线函数,成虫期符合指数函数,全世代符合线性函数;豆卷叶螟世代发育起点温度和有效积温为 13.49℃ 和 431.04 d·℃。不同温度条件下豆卷叶螟种群存活曲线总体属于 Devey III 型,表现为种群发育初期的高死亡率。试验只讨论了温度对其影响,得到了相应恒温条件下种群的生存指标,可用于粗略估计自然条件下豆卷叶螟种群的生长发育情况。对于光周期、湿度及变温环境对豆卷叶螟生长发育的影响,有待继续研究探讨。

参考文献

[1] 史树森. 大豆害虫综合防控理论与技术[M]. 长春:吉林出版集团有限责任公司,2013:129. (Shi S S. Soybean pest comprehensive prevention and control technology and technology [M]. Changchun: Jilin Publishing Group Co., Ltd, 2013: 129.)

[2] 曾维英,蔡昭艳,张志鹏,等. 大豆抗豆卷叶螟的生理生化特性研究[J]. 南方农业学报,2015,46(12):2112-2116. (Zeng W Y, Cai Z Y, Zhang Z P, et al. Physiological and biochemical characteristics of *Lamprosema indicata* (Fabricius)-resistant soybean[J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(12): 2112-2116.)

[3] Xia S P, Liu J P, Zhang C J, et al. A preliminary study on the bionomics of *Lamprosema indicata* Fabricius[J]. Insect Knowledge, 1988: 81-84.

[4] 李广军. 大豆光氧化相关性状、叶绿素含量动态表达和对豆卷叶螟抗性的 QTL 定位[D]. 南京:南京农业大学,2010:38. (Li G J. Detection of QTL for photooxidation-related traits, dynamic chlorophyll content and resistance to bean pyralid (*Lamprosema indicata* Fabricius) in soybean (*Glycine max* Merrill) [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010: 38.)

[5] 姜海平. 大豆卷叶螟的发生与防治[J]. 上海农业科技,2002(2):80-81. (Jiang H P. Occurrence and control of soybean leaf rollers [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2002(2):80-81.)

[6] 吴梅香,蒋振环. 豆卷叶螟及其主要寄生蜂——长颊茧蜂的若干生物学特性[J]. 武夷科学,2011,27(1):63-68. (Wu M X, Jiang Z H. The biological characters of *Lamprosema indicata* and its parasitoid *Dolichogenidea* sp. (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Wuyi Science, 2011, 27(1):63-68.)

[7] 张雷. 大豆常见虫害的识别与防治[J]. 农业灾害研究,2014,4(12):21-23,28. (Zhang L. Identification and prevention of common insect pests in Soybean [J]. Agricultural Disaster Research, 2014, 4(12): 21-23, 28.)

[8] 龙丽萍,杨守臻,陈怀珠,等. 不同基因型大豆品种对豆卷叶螟实验种群的影响[J]. 中国油料作物学报,2004,26(3):68-71. (Long L P, Yang S Z, Chen H Z, et al. Effects of different genotypes of soybean varieties on the experimental population of bean pyralid (*Lamprosema indicata* Fabricius) [J]. Chinese Journal of Oil Crops Science, 2004, 26(3):68-71.)

[9] 邢光南,谭连美,刘泽楠楠,等. 大豆地方品种叶片叶柄茸毛性状的形态变异及其与豆卷叶螟抗性的相关分析[J]. 大豆科学,2012,31(5):691-696. (Xing G N, Tan L M, Liu Z X N, et al. Morphological variation of pubescence on leaf blade and petiole and their correlation with resistance to bean pyralid (*Lamprosema indicata* Fabricius) in soybean landraces [J]. Soybean Science, 2012, 31(5): 691-696.)

[10] Kapoor K N, Gujrati J P, Gangrade G A. Bionomics of *Lamprosema indicata* Fabricius (Lepidoptera: Pyralididae), a pest of soybean in Madhya Pradesh [J]. Indian Journal of Entomology, 1972:102-105.

[11] 戈峰. 昆虫生态学原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2007:64-72. (Ge F. Principle and methods of insect ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2007: 64-72.)

- [12] 陈丽芳,邵东华,段景攀,等. 温度对昆虫的影响[J]. 内蒙古林业科技,2015,41(2):57-61. (Chen L F, Shao D H, Duan J P, et al. Influence of temperature on insects[J]. Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2015,41(2):57-61.)
- [13] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报[M]. 北京:中国农业出版社,2002:323. (Zhang X X. Insect ecology and forecast [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002:323.)
- [14] 丁岩钦,昆虫数学生态学[M]. 北京:科学出版社,1994:318-332. (Ding Y Q, Insect mathematical ecology[M]. Beijing: Science Press, 1994: 318-332.)
- [15] 刘永华,阎雄飞,温冬梅,等. 温度对栎黄枯叶蛾生长发育及繁殖的影响[J]. 昆虫学报,2016,59(3):309-315. (Liu Y H, Yan X F, Wen D M, et al. Effects of temperature on the growth development and reproduction of *Trabala vishnou gigantina* (Lepidoptera: Lasiocampidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2016, 59(3):309-315.)
- [16] 史树森,崔娟,徐伟,等. 温度对尖锥额野螟卵和幼虫生长发育的影响[J]. 大豆科学,2015,34(1):108-111. (Shi S S, Cui J, Xu W, et al. Effects of temperature on growth and development of *Sitochroa verticalis* eggs and larvae [J]. Soybean Science, 2015, 34(1):108-111.)
- [17] 尚小丽,杨茂发,张昌容,等. 温度对产虫茶昆虫紫斑谷螟生长发育的影响[J]. 昆虫学报,2013,56(6):671-679. (Shang X L, Yang M F, Zhang C R, et al. Effects of temperature on the growth and development of *Pyrallis farinalis* (Lepidoptera: yralidae) [J]. Acta Entomologica Sinica ,2013,56(6):671-679.)
- [18] 张玉静,王艳璐,董子舒,等. 绿翅绢野螟发育起点温度和有效积温的研究[J]. 植物保护,2016,42(6):113-115. (Zhang Y J, Wang Y L, Dong Z S, et al. Developmental threshold and effective accumulative temperatures of *Diaphania angustalis* [J]. Plant Protection, 2016, 42(6):113-115.)
- [19] 张云慧,彭赫,张智,等. 温度和食料对白眉野草螟幼虫生长发育的影响[J]. 昆虫学报,2015,58(2):169-174. (Zhang Y H, Peng H, Zhang Z, et al. Effects of temperature and food on the growth and development of larvae of *Agriphila aeneociliella* (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2015, 58(2):169-174.)
- [20] 李广伟,张建萍,陈静,等. 双斑长跗萤叶甲的发育起点温度与有效积温[J]. 昆虫知识,2008(4):621-624, 677. (Li G W, Zhang J P, Chen J, et al. Threshold temperature and effective accumulated temperature of *Monolepta hieroglyphica* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2008(4):621-624, 677.)
- [21] 李燕,杨奥,冯丽凯,等. 不同温度对牧草盲蝻种群生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护,2015,41(1):59-62. (Li Y, Yang A, Feng L K, et al. Effects of different temperatures on the development and reproduction of *Lyguspratensis* [J]. Plant Protection, 2015, 41(1):59-62.)
- [22] 迟玉成,许曼琳,牟山,等. 温度对桃蛀螟生长发育的影响[J]. 山东农业科学,2013,45(7):99-101. (Chi Y C, Xu M L, Mu S, et al. Effects of temperature on growth and development of *Dichocrocis punctiferalis* (Guenée) [J]. Shandong Agricultural Sciences,2013,45(7):99-101.)
- [23] 史树森,崔娟,徐伟,等. 温度对大造桥虫生长发育和繁殖的影响[J]. 中国油料作物报,2015,37(5):707-712. (Shi S S, Cui J, Xu W, et al. Effects of temperature on development and reproduction of *Ascotis selenaria* [J] Chinese Journal of Oil Crops science,2015,37(5):707-712.)
- [24] 史树森,崔娟,齐灵子,等. 温度对斑鞘豆叶甲成虫取食量和耐饥力的影响[J]. 吉林农业大学学报,2013,35(4):406-410. (Shi S S, Cui J, Qi L Z, et al. Effects of temperature on feeding amount and hunger tolerance of *Colposcelis signata* (Motschulsky) Adult [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2013,35(4):406-410.)
- [25] 唐业忠,朱建国,况荣平. 发育起点温度的概念和应用问题[J]. 生态学杂志,1993,12(6):70-72. (Tang Y Z, Zhu J G, Kuang R P. On the aonception and application of the temperature for development [J]. Chinese Journal of Ecology, 1993, 12(6):70-72.)
- [26] 柳丽婷,苏宝玲,刘广纯,等. 国槐尺蠖发育起点温度与有效积温[J]. 昆虫知识,2010,47(1):126-128. (Liu L T, Su B L, Liu G C, et al. Threshold and effective accumulative temperature for the development of *Semiothisa cinereari* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2010, 47(1):126-128.)
- [27] 杜娟,郭建挺,张亚素,等. 温度对梨小食心虫 *Grapholitha molesta* Busck 生长发育及繁殖的影响[J]. 西北农业学报,2009,18(6):314-318. (Du J, Guo J T, Zhang Y S, et al. Effect of temperature on development and reproduction of *Grapholitha molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica, 2009,18(6):314-318.)
- [28] 李定旭,康熙奎,王佳阳,等. 桃小食心虫的发育起点温度和有效积温[J]. 昆虫知识,2010,47(5):923-926. (Li D X, Kang Z K, Wang J Y, et al. Threshold temperature and effective accumulated temperature of peach fruit borer, *Carposina sasakii* [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2010, 47(5):923-926.)
- [29] 向玉勇,殷培峰,汪美英,等. 金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究[J]. 应用昆虫学报,2011,48(1):152-155. (Xiang Y Y, Ying P F, Wang M Y, et al. Developmental threshold temperature and effective accumulative temperature of *Heterolocha jinyinhuaephaga* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48(1):152-155.)
- [30] 胡英华,左秀峰,苏加岱,等. 灰飞虱发育起点温度及有效积温的探讨[J]. 昆虫知识,2010,47(3):596-599. (Hu Y H, Zuo X F, Su J D, et al. Threshold temperature and effective temperature of *Laodelphax striatellus* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2010, 47(3):596-599.)
- [31] 杨振德,田小青,赵博光. 柳蓝叶甲发育起点温度与有效积温的研究[J]. 北京林业大学学报,2006(2):139-141. (Yang Z D, Tian X Q, Zhao B G, et al. Threshold and effective accumulative temperature for the development of *Plagioder a versicolora* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006(2):139-141.)