

高温对二化螟实验种群生长、存活和繁殖的影响

罗 举¹, 张孝羲¹, 翟保平^{1*}, 郭玉人², 朱建华²

(1. 南京农业大学昆虫学系, 南京 210095; 2. 上海市农业技术推广服务中心植保科, 上海 201103)

摘要: 以 27℃ 和 30℃ 恒温为对照, 研究了平均温度在 27~29.2℃ 内的 5 种变温条件下 (每天 20h 的适温 27℃ 和 12:00~16:00 的高温处理, 分别为日最高气温 27℃、30℃、33℃、36℃、40℃) 二化螟实验种群的发育历期、存活率和繁殖力的影响, 组建了特定年龄生命表和繁殖力生命表。结果表明高温可导致二化螟种群的发育速率延缓、存活率和生殖力下降, 主要表现在幼虫历期随日最高温度的升高而延长, 36℃ 时延至 12d 以上; 在日最高气温高于 33℃ 时, 其存活率从 27℃ 时的 30.3% 降至 36℃ 时的 13.1% 和 40℃ 时的 5.5%, 繁殖力也从 30℃ 时每雌产卵量 148.7 粒减至 36℃ 时的 70.5 粒。因此, 夏季异常高温可能是二化螟田间种群数量增长的一个重要抑制因子。

关键词: 二化螟; 变温; 实验种群生命表; 发育历期; 存活率; 繁殖力

Effect of high temperature on the growth, survival and reproduction of a laboratory population of the rice stem borer *Chilo suppressalis* Walker

LUO Ju¹, ZHANG Xiao-Xi¹, ZHAI Bao-Ping^{1*}, GUO Yu-Ren², ZHU Jian-Hua² (1. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Shanghai Agro-technical Extension and Service Center, Shanghai 201103, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 931~936.

Abstract: The influence of high temperature on the growth, survival and reproduction of a laboratory population of the rice stem borer (RSB), *Chilo suppressalis*, was studied by constructing age-specific life tables and fertility life tables under two constant temperatures (27°C and 30°C) and under fluctuating temperature regimes (20h at 27°C + 4h at 30°C, 20h at 27°C + 4h at 33°C, 20h at 27°C + 4h at 36°C, or 20h at 27°C + 4h at 40°C), in which the daily maximum temperature (T_{max}) occurred between 12:00~16:00.

The results indicated that high temperature could affect the survival and duration of larval development of RSB. The mean developmental period of the larvae exposed to a T_{max} of 33°C was longer than the developmental periods under constant temperature, and the developmental period was prolonged by approximately two weeks when the T_{max} was raised to 36°C. The duration of the other developmental stages of RSB did not show significant changes under high temperature. The survival ratio of larvae decreased acutely when T_{max} was greater than 33°C, for example, from 30.3% at 27°C to 13.1% at 36°C and 5.5% at 40°C. The survival of other development stages also decreased significantly as T_{max} increased to 36°C. The highest fecundity, 148.7 eggs per female, occurred at a T_{max} of 30°C, but decreased to 70.5 eggs per female when T_{max} increased to 36°C. Other life table parameters, the net reproductive rate R_0 , the intrinsic capacity for increase r_m , finite rate of increase λ , and population growth index I , dropped rapidly as T_{max} reached 36°C, while the mean length of a generation T was delayed as T_{max} increased above 33°C. There were no significant differences in pupal weights under different T_{max} levels. As compared with the fluctuating temperatures, there were no significant differences in growth, survival and fecundity between insects reared at the two constant temperature treatments of 27°C and 30°C.

基金项目: 上海市十五攻关资助项目 (200-15-14)

收稿日期: 2004-04-06; **修订日期:** 2004-10-15

作者简介: 罗举 (1978~), 男, 湖北麻城人, 博士生, 主要从事昆虫生态与预测预报研究。E-mail: luojuinsect@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

Foundation item: The key project in the 10th five-years plan of Shanghai (No. 2001-5-14)

Received date: 2004-04-06; **Accepted date:** 2004-10-15

Biography: LUO Ju, Ph. D. candidate, mainly engaged in insect ecology and pest forecasting. E-mail: luojuinsect@sohu.com

This experiment demonstrated that the larval stage was the stage most sensitive to daily maximum temperature. High temperatures will affect the survival and fecundity of RSB significantly. Therefore, abnormally high temperatures during summer will probably be an important factor determining the abundance of field populations of RSB. It may be assumed that the population density of RSB will decline during a very hot summer, and the emergence period of the moth will be postponed if the days of $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ are higher than normal.

Key words: *Chilo suppressalis*; fluctuant temperature; life table; developmental duration; survival; fecundity

文章编号:1000-0933(2005)04-0931-06 中图分类号:Q968.1 文献标识码:A

水稻是我国南方地区主要的粮食作物,水稻螟虫(主要是二化螟和三化螟)是水稻上的主要害虫。20 世纪 90 年代后期以来,长江流域稻区因品种布局的改变、轻型栽培的推广、高产优质要求不断提高、抗药性的形成加之全球气候变化等诸多因素的影响,使得水稻螟害连年暴发而损失严重^[1~4],2000 年上海多个郊县的螟害大发生造成了部分田块几乎绝收^[4]。

温度是昆虫生活的重要生态因子,对昆虫的发育、存活和繁殖等均有重要影响。陈常铭测定了对二化螟室内和自然种群的有效积温^[5],陈龙稳等和秦厚国等分别组建了二化螟自然种群生命表^[6,7],但变温条件下高温对二化螟实验种群生长、存活和繁殖等参数的影响尚无报道。本文对二化螟实验种群在 5 种日最高气温的变温条件下的种群基本生命参数进行了测定,研究高温与二化螟种群数量变动的关系,以期对二化螟的预测和管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试虫源和饲养方法

恒温试验的供试虫源是于 2003 年 5 月初采自上海南汇区黄路镇的二化螟卵块,变温试验的虫源是恒温试验的子代。饲养方法参照尚稚珍^[8]及周祖铭^[9]室内水稻种苗饲养法。即将刚孵化的幼虫接入罐头瓶(约 Dia 8cm×H10cm)中,每瓶 250 头,隔 5~7 d 换 1 次饲料,同时记载存活幼虫的数量。待有蛹出现时,逐日将蛹挑出、记数,并放入培养皿中保湿,待羽化后逐日记载当日羽化数,并配对产卵,记载逐日卵量。

1.2 温度的设置

恒温条件为 27℃和 30℃两个梯度,变温为 5 种级差式处理,即每天 20 h 的适温 27℃和 4 h(12:00~16:00)的高温,分别为 24h27℃,20h27℃+4h30℃,20h27℃+4h33℃,20h27℃+4h36℃和 20h27℃+4h40℃(每处理重复 3 次),在 GXZ 型智能光照培养箱(宁波江南仪器厂)内模拟自然情况下高温对二化螟种群的影响,温差幅度为±0.5℃,湿度 70%左右,光周期设为 14L:10D。

1.3 数据采集和分析

卵块孵化后,在解剖镜下计数孵化和未孵化的卵粒,可得到孵化率;由最终蛹数和成虫数可得到幼虫和蛹的存活率。各处理分别取刚化蛹的雌雄蛹各 15 头左右,记载化蛹至羽化的时间得蛹历期。取各处理内前、中、后期的 2 日龄蛹称重。成虫单对交配产卵(每处理至少配 10 对),将同一天羽化的成虫置于装有分蘖苗(苗龄 20d 左右)的大塑料杯(约 Dia 6cm×H12cm)中,每天调查 1 次产卵数,适时替换分蘖苗直至雌蛾死亡,雄蛾则保留至死亡,如果雄蛾先死亡则加入当天羽化的雄蛾,使得雌蛾可以继续交配,记载产卵量和历期。

生命表主要参数的计算方法^[10~13]:

种群增长指数 $I=N_1/N_0$ (指上下两代的卵量比)

种群的净繁殖率 $R_0=\sum l_x m_x$

世代平均寿命 $T=\sum x l_x m_x / R_0$

内禀增长力 $r_m=\ln R_0 / T$

周限增长率 $\lambda=e^{r_m}$

式中, x 表示从卵(♀)产出后以日表示的年龄阶段; l_x 是 x 年龄阶段的存活率; m_x 是 x 年龄阶段尚存活着的雌蛾的平均产雌数。

2 结果与分析

2.1 两种恒温条件下二化螟实验种群的发育、存活与产卵量

由表 1 可以看出,两个恒温处理间各虫态的发育历期都无显著差异,30℃条件下卵、幼虫和蛹的历期相对 27℃下有一

表 1 恒温条件下二化螟各虫态的发育历期(d)

Table 1 Duration of RSB* at constant temperature(d)			
发育阶段		温度 Temperature(℃)	
Development stages		27	30
卵期 Eggs		5.08±0.59a	4.81±0.53a
幼虫期 Larvae		29.15±5.24a	28.42±3.78a
蛹期 Pupae	♀	6.25±0.7a	6.09±0.94a
	♂	6.07±0.59a	5.85±1.09a
成虫 Adults	♀	4.05±0.91a	4.25±0.68a
	♂	4.33±1.01a	4.94±0.85a

RSB rice stem borer; * 表中数据为平均值±标准差,对同一虫期不同温度处理间进行比较,不同的小写字母表示差异显著($p<0.05$) The data in the table presented mean±SD and the data following by different letters show significant difference at $p<0.05$ (LSR test);以下同 the same below

定的缩短,但成虫寿命反而有一定延长。由表 2 可知,两个恒温处理间各虫态的存活率也均无显著差异,30℃条件下的羽化数相对 27℃下的略多。由表 3 可以看出,两个恒温处理间蛹重及平均产卵量无显著差异,30℃条件下的雄蛹相对 27℃下略重,同时平均产卵量也较 27℃下的多。

表 2 恒温条件下二化螟各虫态的存活率(%)

Table 2 Survival of RSB at constant temperature(%)

温度 Temperature(℃)	27	30
起始卵数 Eggs	100	100
幼虫 Larvae	95.23a	93.88a
蛹 Pupae	26.47a	25.82a
成虫 Adults	13.24a	15.3a
世代存活率 Survival	13.24a	15.3a
种群趋势指数 I	9.1	16.35

表 3 恒温条件下二化螟蛹重及产卵量

Table 3 The pupal weight and egg number of RSB at two constant temperature

温度(℃) Temperature	蛹重 Pupal weight(mg)		产卵量 Number of eggs(粒)
	雌 Female	雄 Male	
27	48.21±5.57(91)a	35.50±3.83(137)a	145.7±76.4(19)a
30	48.65±3.05(113)a	39.22±2.01(84)a	197.5±80.2(16)a

* 括号内数字分别表示称重时所用蛹的头数和配对时雌雄蛾对数;以下同
The numbers in the parentheses mean the number of pupae for weighing and the pairs of adults for mating,respectively;the same below

2.2 不同变温条件下二化螟实验种群的发育与存活

设置 5 种日最高温度的变温处理,并与恒温处理作比较,以便探明高温对二化螟种群的发育、生存和繁殖的影响。

2.2.1 不同温度条件下的发育历期 由表 4 可见,变温条件下与恒温条件下的发育有所不同。在日平均温度 27~29.2℃范围内,日最高气温对二化螟实验种群的发育有一定抑制作用,主要表现在对幼虫发育的影响。当日最高气温自 27℃上升到 30℃时,幼虫发育便开始延长,当日最高气温超过 33℃时则显著延长。日最高气温达 36℃和 40℃时,幼虫发育历期较 27℃时分别延长约 6 d 和 12 d,而对其它虫态则影响不显著,如卵和成虫的历期随日最高气温的升高而逐渐缩短,对蛹期则基本上无影响。另一方面,与表 1 相对照,5 个变温处理的日平均温的范围与恒温处理的范围相仿,而且处理间的日均温相差仅 2.2℃,但对幼虫的发育却有显著的影响,说明变温的影响是通过日最高气温来作用的。

表 4 5 种变温条件下二化螟各虫态的发育历期(d)

Table 4 Developmental duration of RSB population at fluctuant temperature (d)

发育阶段 Development stages	温度 Temperature(℃)					
	平均 Mean	27	27.5	28	28.5	29.2
	最高 Max.	27	30	33	36	40
卵 Eggs		5.08±0.58 a	4.81±0.53 a	4.62±0.55 ab	4.31±0.51 b	—
幼虫 Larvae		33.38±4.59 c	37.54±4.87 bc	39.47±5.69 bc	39.07±6.16 b	45.36±6.16 a
蛹 Pupae	♀	5.63±0.75 ab	6.16±0.71 a	6.15±0.76 a	5.47±0.62 b	6±0.5 ab
	♂	5.68±0.53 ab	5.64±0.75 b	6.29±0.61 a	6.19±1.06 ab	5.75±0.95 ab
成虫 Adults	♀	4.43±0.76 ab	5±1.06 a	4.18±0.83 b	4.4±0.74 ab	4±0.77 b
	♂	5±0.78 ab	5.5±0.94 a	5.13±0.72 a	4.3±1.03 b	4±0.86 b

* 变温为 5 种级差式处理,即每天 20h 的适温 27℃和 4h(12:00~16:00)的高温;40℃高温处理时,卵期处理缺 Set the daily fluctuant temperature as 20h 27℃ and 4h maximum temperature (30℃, 33℃, 36℃ and 40℃ during 12:00~16:00 everyday); The egg under 40℃ is absent

2.2.2 不同温度条件下的特定年龄生命表及蛹重 由表 5 看出,幼虫期的死亡率在全世代中是最高的,尤其当日最高气温超过 33℃时死亡率明显增高,到 40℃时,达 94.5%,可见幼虫期是对高温最为敏感的时期。另外,高温对其他虫态的存活率也有影响,尤其是当温度达到 36℃时,各虫态的存活率会均显著降低,种群趋势指数也由 33℃时的 8.52 剧降至 2.17。高温对产卵量有着显著影响。以日最高气温 30℃下产卵最多,日最高气温达到 36℃时产卵量开始下降,到了 40℃时,产卵很少。可知日最高温度超过 36℃时,对产卵有抑制作用。显然,日最高气温达到 33℃以上时,对二化螟种群会有不利影响。

对变温条件处理下平均蛹重作多重比较(表 6),结果表明各处理间蛹重的差异不显著,说明无论在恒温或变温处理下高温对蛹重都没有明显影响。

2.3 各温度处理下的种群生殖力生命表及生命表参数

组建了 4 个不同日最高气温下的生殖力生命表,本文仅给出 27℃条件下的生殖力生命表如表 7。表中 $R_0=9.567$, $T=44.89$, $r_m=0.05$, $\lambda=1.052$,这表明在 27℃下二化螟实验种群理论上将逐日以 1.052 倍的速率不断作几何级数增长,1 个个体经一个世代约 44.89 d 后会繁殖到 9.567 个个体,其瞬时增长率为 0.05。

各温度处理下种群生命表参数如表 8。在平均温度为 27~30℃ 的范围内,随着变温处理温度的升高,尤其当日最高气温达 33℃ 以上时,种群的净繁殖率(R_o)和内禀增长力(r_m)均明显降低,而世代历期(T)延长;当达到 40℃ 时,不能完成世代的发育。这进一步证实,日最高气温高于 33℃ 时对二化螟种群有抑制和不利作用。

表 5 不同温度条件下二化螟种群的特定年龄生命表
Table 5 Age special life table of RSB population at different temperature

项目 Item	最高温度 The maximum temperature(℃)				
	27	30	33	36	40
起始卵数 Initial eggs	100	100	100	100	—
死亡数 Number of died egg	4.77	6.12	7.44	14.89	—
死亡率 Egg mortality(%)	4.77	6.12	7.44	14.89	—
幼虫数 Larvae number	95.23	93.88	92.56	85.11	100
死亡数 Number of died larvae	66.38	67.61	67.94	73.96	94.5
死亡率 Larvae mortality(%)	69.7	72.02	73.4	86.9	94.5
蛹数 Pupae number	28.8 5a	26.2 7a	24.62 a	11.15 b	5.5
死亡数 Number of died pupae	7.66	12.19	11.48	4.15	1.6
死亡率 Pupae mortality(%)	26.55	46.4	46.63	37.22	29.1
羽化数 Emerged adults	21.19 a	14.08a	13.14 a	7 b	3.9
雌蛾数 Number female adult	8.45	6.87	7.59	3.05	0.3
平均每雌产卵数 Average eggs per female	118.9 ab	148.7 a	112.3 ab	70.5 b	—
世代存活率 Generation survival rate(%)	21.19 a	14.08 a	13.14 a	7 b	3.9
种群趋势指数 Population trend index	10.98	10.22	8.52	2.17	—

* 起始卵数 100 是将实际卵数折算成 100 的理论数量,以便于数据的统一比较;40℃ 高温处理时,卵期处理缺,故以幼虫处理 100 开始;同时雌蛾最终只有 2 只,没做产卵量的统计 The initial eggs, 100, is theoretic number which the real number is converted into for comparing uniformly;The 100 under 40℃ is presented as larvae,and there is no egg number in statistics for few female adults appeared

表 6 不同温度条件下二化螟试验种群的平均蛹重(mg)
Table 6 The mean weight of RSB pupae at different temperature (mg)

项目 Item	温度 Temperature(℃)				
	27	30	33	36	40
雌 Female	49.43±4.26(30)a	51.87±1.72(30)a	51.93±5.72(20)a	47.61±1.51(24)a	—
雄 Male	38.40±1.91(42)a	38.21±2.42(30)a	37.23±1.80(28)a	37.53±3.11(29)a	—

表 7 在 27℃ 条件下,二化螟种群的生殖力生命表
Table 7 Time special life table of RSB at 27℃

年龄 Age (d) (x)	存活率 Survival l_x	平均产雌数 Fertility m_x	$l_x m_x$	$x l_x m_x$
0	1.000		未成熟期	
...	...		Immature stage	
43	0.168	0		
44	0.168	17.68	2.97	130.694
45	0.168	30.15	5.065	227.94
46	0.144	7.97	1.148	52.795
47	0.096	4	0.384	18.048
48	0.000	0		
总计 Total			$R_o=9.567$	429.477

表 8 不同温度条件下二化螟实验种群的生命表参数
Table 8 The life table parameters of RSB population at different temperature

温度(℃) Temperature	R_o	T	r_m	λ	I
C27	7.687	42.06	0.049	1.05	9.1
C30	16.076	40.97	0.068	1.07	16.35
F27	9.567	44.89	0.05	1.052	9.98
F30	9.521	49.98	0.045	1.046	10.22
F33	6.899	51.25	0.038	1.038	8.52
F36	1.94	51.46	0.013	1.013	2.17

* C 恒温,F 变温,如 C27 即是恒温 27℃ 处理下的参数
C means constant temperature and F is fluctuant temperature.

3 讨论

高温对昆虫的影响可表现在几个方面,如导致夏季滞育、热休克、直接死亡,或生殖力减退等。夏季滞育是昆虫对外界环境的一种生态适应性,在蝶类、夜蛾类、斑蛾类、瓢虫类中均有报道^[16~22]。夏季滞育的外部表现为滞育虫态的发育延迟,其诱导因素为高温及长光照。如韩国 Seo 等报道,烟芽夜蛾 *Heliothis virescens* 在 26~41℃ 的变温条件下可产生夏季滞育蛹^[21]。Henneberry 等的研究表明,烟芽夜蛾在 35℃,LD14:10 的高温 and 长光照条件下可产生夏季滞育蛹^[18,19]。本试验结果表明,高温可抑制二化螟的发育速率,主要表现在幼虫历期随日最高气温的升高而延长,其表现型有与烟芽夜蛾相似之处,通常认为二化

螟属于短日照滞育型,在较高温度的 8 月份短光照的诱导下形成滞育^[14,15]。但要明确二化螟是否存在夏季滞育还需作进一步的详细研究,如夏季滞育的诱导和解除因素,滞育的临界虫态和临界条件,滞育虫态体内的蜕皮甾酮的滴度,据在烟芽夜蛾的研究夏季滞育蛹中蜕皮甾酮的滴度比正常蛹要低 2~3 倍^[18]。

热休克也可以说是高温滞育或高温致死的一种生理保护功能,但持续时间过长也可导致死亡。热休克个体中的热激蛋白含量高,如在烟芽夜蛾夏季滞育蛹的睾丸中有很高的贮存蛋白及其合成速度^[21],有助于热休克的完成。

高温同时也会影响到存活率和生殖力,如本试验证实当日最高气温达到 35℃ 以上时会导致种群的存活率和生殖力锐减。因此可以设想在高温年份(日最高气温达到 35℃ 以上的天数较多)的夏季 7 月份下旬至 8 月中旬,二代二化螟幼虫会有大量死亡,发蛾量将会锐减,而发蛾期会推迟和拉长,同时蛾峰会变得不明显。

二化螟实验种群的饲养技术是整个试验顺利进行的前提,显然其中会有一些不够完善之处。如试验当中仍会出现少量幼虫逃失的现象,同时本试验饲养虫源是两个连续的世代,世代间生命特征等方面会有些许不同,这些都会给试验结果带来一定的影响,使得两个世代的生命参数有一定的差异,如两种温度处理中同样为 27℃ 下的发育历期和种群的净繁殖率(R_0)各不相同(表 1、表 4、表 8)。

气候因子中温度对二化螟的影响是显而易见的,但对于螟虫种群数量动态,需要关注的因素还有很多,除气象因素外,还有耕作制度、栽培方式、品种以及天敌等^[1~3]。而且,在本实验的变温处理中,二化螟是直接处于高温条件下,这与田间的情况有一定差异。当外界气温达到 35℃ 以上时,二化螟幼虫的生存环境(蛀入稻茎中)中的温度能否达到 33℃ 以上? 若否,异常气温是通过影响钻蛀前的初孵蚁螟的存活率或钻蛀成功率而形成对二化螟田间种群的抑制吗? 所有这些还有待于深入研究。

References:

- [1] Shen C F, Xuan W J, Jiao X G, *et al.* Causes, trend and control strategies of disaster of rice stem borers in China. *J. Nat. Disaster.*, 2002, **11**(3): 103~108.
- [2] Fang J C, Tu Z W. Increasing harm tendency of rice stem borers and their control strategy in China. *Entomol. Know.*, 1998, **35**(4): 193~197.
- [3] Pan B X. The outbreak cause and its control strategy of the rice stem borer and the yellow rice borer in 1996~1997 in North Zhejiang paddy area. *Entomol. Know.*, 2000, **37**(3): 134~136.
- [4] Jiang Y P, Guo Y R, Gong C G. The outbreak cause and its control of the rice stem borer in Shanghai area. *Plant protection technology and extension*, 2003, **23**(2): 6~7.
- [5] Chen C M, Song H Y, Zhou Z M, *et al.* The effectively accumulative temperature of rice stem borer and its application. *J. Hu'nan. Agri. College*, **1957**(3): 127~131.
- [6] Chen N W, Ou Y H Y, Li Z X, *et al.* Life table of population of *Chilo suppressalis*(Walker) in the rice field. *Acta Entomol. Sin.*, 1984, **21**(4): 145~148.
- [7] Qin H G, Hu S X, Fang R, *et al.* Life table of natural population of *Chilo suppressalis*(Walker) on the hybrid rice. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 1991, **3**(2): 117~124.
- [8] Shan Z Z, Wang Y S, Zhou Y H. Studies on the rearing method of *Chilo suppressalis*(Walker). *Acta Entomol. Sin.*, 1979, **22**(2): 164~167.
- [9] Zhou Z M. Studies on the techniques for evaluating rice varietal resistance to striped rice borer. *Acta Phytopylacica Sinica*, 1984, **11**(2): 109~114.
- [10] Wu K J, Chen Y P, Li M H. Effects of temperature on growth of laboratory population of *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomol. Sin.*, 1980, **23**(4): 358~367.
- [11] Wu K J, Chen Y P, Li M H. Life table of laboratory population of *Helicoverpa armigera* under different temperature. *Acta Entomol. Sin.*, 1978, **21**(4): 385~391.
- [12] Wang M J, Zhang X X. Studies on time-special life tables of laboratory population of cigarette beetles, *Lasioderma serricorne*(F.). *J. Na'ning Agri. Univ.*, 1995, **18**(4): 52~56.
- [13] Zhang X X, Wang M J. An ecological study on the laboratory population of cigarette beetle, *Lasioderma serricorne*(F.) (Coleoptera: anobiidae). *Acta Entomol. Sin.*, 1996, **39**(4): 383~392.
- [14] Wang X G, Cheng J A, He J H. Study on diapause of the striped rice borer(*Chilo suppressalis* Walker). *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1993, **19**(2): 170~174.
- [15] Shen R W, Xue F S. Study on diapause of the striped rice borer(*Chilo suppressalis* Walker). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1988, **10**(2): 25~31.

- [16] Xue F S, Li A Q, Zhu X F. The role of temperature during insect diapause. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2001, **23**(1): 62~67.
- [17] Wei H Y, Xue F S, Zhu X F. The effects of photoperiod, light pause and temperature on summer and winter diapause in the cabbageworm *Pieris melete* Menetries. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1996, **18**(3): 341~349.
- [18] Henneberry T J, *et al.* Diapause in the tobacco budworm *Heliothis virescens* comparison of ecdysteroid titers during autumnal and aestival diapause. *Southwestern Entomologist*, 1987, **12**(1): 17~23.
- [19] Henneberry T J, Hutchinson W D. Tobacco budworm: phonology of fall and summer diapausing and degree-day requirement for larva development and adult emergence. *Environmental Entomology*, 1989, **18**(4): 567~569.
- [20] Katsoyannos P, *et al.* Summer diapause and winter quiescence of coccinella septempunctata in central Greece. *Entomophaga*, 1997, **42**(4): 483~491.
- [21] Seo S J, Kim C H. Localization and function of a storage protein in testes of summer diapause males in tobacco budworm, *Heliothis virescens*. *Korean Journal of Entomology*, 1992, **22**(1): 59~66.
- [22] Wipking W. Influences of the period of diapause and its ending process in dormant larvae of burnet moth (Lepidoptera, Zygaenidae). *Oecologia*, 1995, **102**(2): 202~210.

参考文献:

- [1] 盛成发, 宣维健, 焦晓国, 等. 我国稻螟爆发成灾的原因、趋势与对策. 自然灾害学报, 2002, **11**(3): 103~108.
- [2] 方继朝, 杜正文, 程遐年. 水稻螟害上升态势与控害减灾对策分析. 昆虫知识, 1998, **35**(4): 193~197.
- [3] 潘欣葆. 浙北稻区二、三化螟 1996~1997 年大发生原因与综合防治对策. 昆虫知识, 2000, **37**(3): 134~136.
- [4] 蒋耀培, 郭玉人, 龚才根, 等. 上海地区水稻螟虫暴发原因和综合治理措施. 植保技术与推广, 2003, **23**(2): 6~7.
- [5] 陈常铭, 宋慧英, 周祖铭, 等. 水稻二化螟有效积温的测定及其应用的初报. 湖南农学院学报, 1957(3): 127~131.
- [6] 陈龙稳, 欧阳享决, 李章顺, 等. 二化螟田间种群生命表的初步研究. 昆虫知识, 1984, **21**(4): 145~148.
- [7] 秦厚国, 胡水秀, 方荣, 等. 杂交稻二化螟自然种群生命表. 江西农业学报, 1991, **3**(2): 117~124.
- [8] 尚稚珍, 王银淑, 邹永化. 二化螟饲养方法的研究. 昆虫学报, 1979, **22**(2): 164~167.
- [9] 周祖铭. 水稻品种抗二化螟鉴定方法研究. 植物保护学报, 1984, **11**(2): 109~114.
- [10] 吴坤君, 陈玉平, 李明辉. 不同温度下的棉铃虫实验种群生命表. 昆虫学报, 1978, **21**(4): 385~391.
- [11] 吴坤君, 陈玉平, 李明辉. 温度对棉铃虫实验种群生长的影响. 昆虫学报, 1980, **23**(4): 358~367.
- [12] 王明杰, 张孝羲. 烟草甲实验种群特定时间生命表的研究. 南京农业大学学报, 1995, **18**(4): 52~56.
- [13] 张孝羲, 王明杰. 烟草甲的实验生态研究. 昆虫学报, 1996, **39**(4): 383~392.
- [14] 沈荣武, 薛芳森. 二化螟滞育的研究. 江西农业大学学报, 1988, **10**(2): 25~31.
- [15] 汪信庚, 程家安, 何俊华. 二化螟滞育的研究. 浙江农业大学学报, 1993, **19**(2): 170~174.
- [16] 薛芳森, 李爱青, 朱杏芬. 温度在昆虫滞育期间的作用. 江西农业大学学报, 2001, **23**(1): 62~67.
- [17] 魏洪义, 薛芳森, 朱杏芬. 光温条件影响黑纹粉蝶夏季滞育和冬季滞育的研究. 江西农业大学学报, 1996, **18**(3): 341~349.