ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 32 卷 第 18 期 Vol.32 No.18 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 18 期　　2012 年 9 月　(半月刊)

目　　次

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09

封面图说:冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有"红肉冠"而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

彩图提供:陈建伟教授　北京林业大学　E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108141188

陈元生,涂小云,陈超,匡先钜,薛芳森. 暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较. 生态学报,2012,32(18):5770-5776.

Chen Y S, Tu X Y, Chen C, Kuang X J, Xue F S. A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5770-5776.

暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较

陈元生[1,2],涂小云[1,3],陈 超[1],匡先钜[1],薛芳森[1,*]

(1. 江西农业大学昆虫研究所, 南昌 330045; 2. 江西环境工程职业学院, 赣州 341000;
3. 江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022)

摘要:至今,所测试昆虫的光周期反应均表明,光周期反应对暗期干扰高度敏感,短暂的光脉冲都可在不同程度上逆转长夜效应,抑制滞育的发生。在研究了棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 泰安种群(36.15°N, 116.59°E)和喀佐种群(41.34°N, 120.27°E)光周期反应的基础上,在滞育诱导的短光周期下(L12:D12 和 L9:D15),分别测试了暗期不同时段 1h 光脉冲对这两个不同地理种群滞育抑制的影响。25 和 22℃下的光周期反应显示了泰安种群在长暗期 11—14 h 的滞育率均显著低于喀佐种群;泰安种群的临界暗长分别为 11.7 h 和 11.5 h,喀佐种群分别为 10.5 h 和 10.3 h,泰安种群均比喀佐种群长 1.2 h。在所测试的暗期干扰实验中,除了极少数光脉冲干扰点外,泰安种群蛹滞育率显著低于喀佐种群,但两者的滞育反应曲线基本相似。在短光周期 L9:D15 下,泰安种群和喀佐种群均显示了光脉冲落入暗期的第 9—11 小时最有效地抑制了滞育的发生。在短光周期 L12:D12 下,泰安种群和喀佐种群在 25℃时均显示了光脉冲落入暗期的第 3—4 小时和第 10 小时导致了最低的滞育发生;但在 22℃时,喀佐种群只在暗期的第 3—4 小时显示了最高的滞育抑制。这些结果揭示了偏南的泰安种群对暗期干扰的敏感性强于偏北的喀佐种群,但这两个地理种群的最高光敏感位点基本相同。

关键词:棉铃虫;滞育;光周期;温度;暗期干扰;地理种群

A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*

CHEN Yuansheng[1,2], TU Xiaoyun[1,3], CHEN Chao[1], KUANG Xianju[1], XUE Fangsen[1,*]

1 *Institute of Entomology, Jiangxi Agriculture University, Nanchang* 330045 *China*

2 *Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou* 341000 *China*

3 *College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang* 330022 *China*

Abstract: Photoperiodic time measurement in insects can be affected by interrupting the dark phase of the light dark cycle with short supplementary light pulses. All the photoperiodic responses tested are highly sensitive to night interruption, and the long night effect is reversed by a light break. Most past studies revealed two points of apparent light sensitivity (the so-called A and B peaks), but the response pattern varied considerably among different species. Some species had only one peak (or trough), either A or B. Even the same species may have different patterns of response depending on the experimental conditions. However, it is still not clear whether differences exist in the effect of night-interruption on diapause-averting among different geographic populations. The cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) is one of the most serious crop pests in Asia, Australia, Africa and Europe. The species is distributed across much of China and

基金项目:国家自然科学基金项目(31060243)

收稿日期:2011-08-14; **修订日期**:2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xue_fangsen@hotmail.com

attacks many host plants. The widely distributed *H. armigera* encounters a great diversity in climatic conditions in different places and shows different critical day lengths or night lengths (the day length that elicits 50% diapause response) among different geographic populations. In the present study, the photoperiodic response and effects of night-interruption on diapause-averting, in which the scotophases of L9:D15 (Light 9 h:Dark 15 h) and L12:D12 were interrupted by 1 h light pulse, were investigated at 22℃ and 25℃ in Taian (TA, 36.15°N, 116.59°E) and Kazuo (KZ, 41.34°N, 120.27°E) populations of the cotton bollworm *H. armigera*. The photoperiodic response curves showed that the incidences of diapause in the scotophases of 11—14 h were significantly lower in the Taian population than in the Kazuo population. The critical night length in the Taian population at 25℃ and 22℃ was 11 h 42 min and 11 h 30 min, respectively, and 1h 20 min longer than that in Kazuo population (10 h 30 min and 10 h 18min). In all night-interruption experiments, the incidences of diapause in almost all positions of light pulse in the Taian population were significantly lower than that in the Kazuo population. However, the diapause response curves were similar in the two populations. Under L9: D15, the incidence of diapause was inhibited most effectively in both the Taian population and the Kazuo populations when the light pulses were placed at 9—11 h in the darkness. Under L12:D12 the incidence of diapause was lowest at 25℃ in both Taian population and Kazuo population when the light pulses were placed at 3—4 h and 10 h in the darkness. However, the Kazuo population only showed a peak of diapaus-averting occurring in 3—4 h in the darkness at 22℃.

Our results reveal that effect of night-interruption on diapause-averting is different among different geographic population. The southern Taian population is more sensitive to night-interruption than the northern Kazuo populations, but the most highly photosensitive position is similar for both populations.

A light pulse plays two possible roles in photoperiodic time measurement. First it 'initiates' or 'resets' the clock; this has been called the 'entraining agent' or 'priming agent'. Second it 'measures' a critical duration of day or night; this has been called the 'inductive agent' or 'terminating agent'. The present study in *H. armigera* reveals that a light pulse can reset the process measuring night length, and thus influences the incidence of diapause.

Key Words: *Helicoverpa armigera*; diapause; photoperiod; temperature; night interruption; geographic population

暗期干扰试验是指在暗期不同时段采用单一的光照(亦称光脉冲)干扰昆虫的光周期反应。1949 年 Dickson 首次将这种试验方案应用于昆虫梨小食心虫 *Grapholitha molesta* 幼虫滞育的研究,结果表明,在滞育诱导的短光周期(L12:D12)条件下,在暗期的中期给予 2 h 的光脉冲能够抑制滞育的发生[1]。继后,它成为分析昆虫光周期时间测量特性的主要手段之一。通过这个试验可以探明是否光的启动或关闭重新开动了昆虫的时间测量,夜间的哪一时段对光最敏感[2-3]。至今,所测试昆虫的光周期反应均显示了对暗期干扰高度敏感,短暂的光脉冲可在不同程度上逆转长夜效应,抑制滞育的发生[4-15]。随着研究的不断深入,进一步揭示了不同的昆虫具有不同的光敏感位点[16],即光脉冲对不同的昆虫具有不同的滞育抑制效果[17-22]。有些种类分别在暗期初期和暗期后期显示对光脉冲最敏感,分别称为 A 峰和 B 峰或 A 槽和 B 槽[23],有些种类仅显示 A 峰或 B 峰[24-25];有些种类最高光敏感期出现在暗期的中期[11, 13]。此外,由于实验条件的不同(如光脉冲长度、干扰的光周期背景、试验温度不同等),同种昆虫也可能出现不同的光敏感位点[6, 11-15, 26-27]。那么,同种昆虫的不同地理种群之间是否也存在不同的光敏感位点、具有不同的滞育抑制效果? 迄今尚未见报道。

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)是全球最重要的农业害虫之一,有关棉铃虫滞育诱导光周期反应的地理变异国内已有一些报道。研究表明,不同的地理种群对光周期的反应存在一定的差异,随着种群所处位置的南移,棉铃虫的临界光周缩短,对光周期反应的敏感性逐渐减弱[28]。但有关棉铃虫暗期干扰的滞育反应,尚未见报道。为此,展了本项研究,旨在探明光脉冲对不同地理种群棉铃虫滞育抑制的作用效果,以期进一步了解该虫光周期时间测量的特点,为分析昆虫光周期控制滞育的进化提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试棉铃虫分别于2010年7—8月采自山东泰安(以下简写为TA, 36.15°N,116.59°E)、辽宁喀佐(以下简写为KZ, 41.34°N, 120.27°E),采集的均为高龄幼虫。幼虫在室内用人工饲料[29]、在25℃、L16:D8的光周期条件下饲养,3龄前在24孔板内群养,3龄后在21孔冰格板内单养,成虫用复合维生素糖水饲喂[30],成虫产卵后孵出的幼虫用于试验。

1.2 试验方法

整个幼虫期在25℃和22℃下分两组试验,第一组在光周期L9:D15、L10:D14、L11:D13、L12:D12、L13:D11、L14:D10、L15:D9和L16:D8条件下观察棉铃虫泰安种群(TA)和喀佐种群(KZ)的光周期反应,确定其临界暗长(诱导50%个体进入滞育的光周期界限);第二组暗期干扰的光周期背景采用L9:D15和L12:12(均为滞育诱导的光周期),暗期处理采用人工方法进行,在暗期每隔1h给予1 h的光干扰(光照强度为500—700 lx),在整个幼虫期的每天的暗期均是如此。各处理设3次重复。以上实验均在新苗光照培养箱GZX-250BS-Ⅲ中进行,光照强度为500—700 lx,箱内的温度变化为±0.5℃。

棉铃虫滞育蛹的判断依据蛹的眼点移动情况判断,在上述各条件下幼虫化蛹后10 d眼点位置仍无变化的蛹判定为滞育个体[31]。然后统计各处理的滞育率。

试验数据中各处理间滞育率的差异分析采用SPSS13.0软件中的Crosstabs(交叉表)法中的卡方检验法(Chi-square)。

2 结果

2.1 滞育诱导的光周期反应

不同地理种群棉铃虫滞育诱导的光周期反应结果见图1。从图1可知,在25℃下,TA种群在长暗期10—14 h的滞育率显著低于KZ种群,TA种群临界暗长(11 h 42 min左右)比KZ种群的临界暗长(10 h 30 min左右)延长了1 h 12 min。在22℃下,TA种群在长暗期10—15 h的滞育率也显著低于KZ种群,TA种群临界暗长(11 h 30 min左右)比KZ种群的临界暗长(10 h 18 min左右)也延长了1 h 12 min。结果表明,偏南的TA种群棉铃虫对滞育诱导的光周期的反应比KZ种群更弱些。

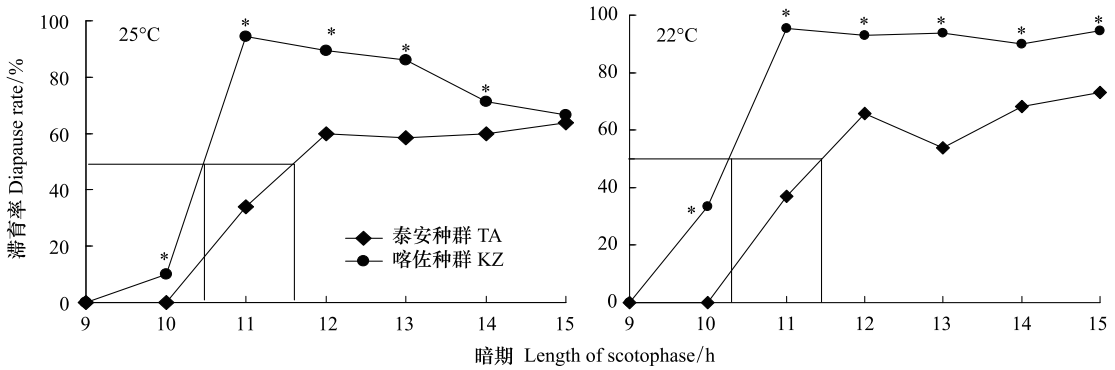

图1 不同地理种群棉铃虫滞育诱导的光周期反应

Fig. 1 Photoperiodic response curves for diapause induction in different geographyic populations of *H. armigera*

图中"*"表示在相同暗期点两种群滞育率有显著性差异(Chi-Square检验,$P<0.05$),每观察点的样本数为45—107头

2.2 不同地理种群暗期干扰的滞育反应

棉铃虫TA种群和KZ种群在25和22℃、光周期L9:D15和L12:D12下,暗期不同时段采用1h光脉冲的滞育反应结果见表1和图2。从图2可见,在绝大多数光干扰位点,TA种群的滞育率均显著低于KZ种群(Chi-Square检验,$P<0.05$),但两种群呈现出相似的滞育反应曲线。

在25℃、L9:D15条件下,TA种群和KZ种群均显示了两个明显的滞育抑制槽,A槽均出现在暗期的第6

h,其间的1h 光脉冲分别导致了73.04%和53.85%个体发育;TA 种群 B 槽出现在暗期的第10—11h,KZ 种群 B 槽出现在暗期的第9—11h,其间的1h 光脉冲导致了83%以上的个体发育(图2A)。相似的结果也出现在22℃、L9∶D15 条件下,落入在暗期第6 h 和9—11 h 的光脉冲最有效地抑制了滞育的发生(图2C)。上述结果表明,TA 种群最高光敏感位点落在暗期第10—11h,KZ 种群最高光敏感位点落在暗期第9—10 h。

在25℃、L12∶D12 条件下,TA 种群和 KZ 种群也显示了两个明显的滞育抑制槽,A 槽出现在暗期第3—4 h,此时的光脉冲导致了100%个体发育;B 槽出现在暗期的第10 h,此时的光脉冲也导致了几乎100%个体发育(图2B)。在22℃、L12∶D12 条件下,TA 种群分别在暗期的第3—5、7 和10 h 显示了最高的滞育抑制,100%个体发育;而 KZ 种群仅在暗期的第3—4 h 显示了最高的滞育抑制,发育个体均超过了90%(图2D)。

表1　棉铃虫 TA 种群和 KZ 种群在暗期干扰下的滞育率

Table 1　The incidence of diapause between Taian and Kazuo populations of *H. armigera under* night interruption

处理 Treatment	25℃, L9∶D15				25℃, L12∶D12				22℃, L9∶D15				22℃, L12∶D12			
	滞育率% Diapause rate		样本数 Number		滞育率% Diapause rate		样本数 Number		滞育率% Diapause rate		样本数 Number		滞育率% Diapause rate		样本数 Number	
	TA	KZ	TA	KZ	TA	KZ	TA	KZ	TA	KZ	TA	KZ	TA	KZ	TA	KZ
1	63.89	66.67	58	48	56.14	82.46	57	57	73.33	94.59	60	74	62.07	100.0	58	39
2	60.94	73.33	87	60	9.62	25.00	52	48	44.44	73.68	54	57	47.36	72.00	57	50
3	57.69	76.92	74	65	0.00	0.00	53	52	50.00	96.77	64	62	0.00	4.17	57	48
4	62.50	71.19	72	59	0.00	0.00	48	49	64.71	88.24	68	51	2.86	6.67	70	45
5	47.95	50.00	73	60	13.04	25.00	46	56	73.08	84.62	52	39	5.26	45.45	57	44
6	26.56	46.15	64	78	40.47	69.23	42	52	0.00	27.78	54	54	65.38	78.18	52	55
7	50.00	77.08	68	48	34.18	61.91	79	42	31.25	84.21	64	57	39.29	89.80	56	49
8	30.65	25.00	62	56	17.46	56.00	63	50	4.55	90.00	44	60	71.70	70.59	53	68
9	16.98	0.00	53	62	9.52	35.48	42	62	0.00	9.09	42	44	65.45	88.00	55	50
10	0.00	3.33	79	60	4.35	0.00	46	44	0.00	2.63	44	38	26.67	69.57	45	46
11	1.28	6.25	78	64	3.45	30.43	58	46	0.00	4.55	42	42	34.88	84.21	43	57
12	34.78	42.86	69	42					64.28	87.50	56	48				
13	56.67	73.08	60	52					44.44	75.00	54	40				
14	42.11	63.64	76	44					73.68	85.71	38	42				

TA: 泰安种群 Taian population; KZ: 喀佐种群 Kazuo popalation

3　讨论

本研究结果显示,光脉冲对不同地理种群棉铃虫滞育的抑制效果存在明显差异,即棉铃虫对暗期干扰的滞育反应存在地理变异。本试验首次揭示了低纬度(36.15°N)的棉铃虫 TA 种群对暗期干扰的反应比高纬度(41.34°N)的 KZ 种群更敏感,即在相同的光周期和温度条件下,TA 种群在绝大多数光脉冲干扰位点的滞育发生率均显著低于 KZ 种群,且 TA 种群滞育抑制槽更宽(图2)。这两个地理种群在暗期干扰试验中出现的差异主要是由这两个地理种群对光周期的敏感性不同所致,如图1 所示,TA 种群棉铃虫在绝大多数短光照条件下的滞育率均显著低于 KZ 种群,TA 种群棉铃虫对光周期反应的敏感性比 KZ 种群更弱,即对暗期要求更高。结果还显示,虽然在绝大多数光干扰位点 TA 种群的滞育率显著低于 KZ 种群,但两种群呈现出相似的滞育反应曲线,最高光敏感也基本相似,这也反映了同种昆虫不同地理种群对光周期反应的相似性。

在光周期时间测量中,光脉冲可能起着两种作用:(1)启动或调整光周期钟,作为“导入因子”[32]或“启动因子”[20];(2) 测量临界暗长或日长,称为“诱导因子”[32]或“中止因子”[20],即光脉冲中断了暗长的测量过程,并重新调整光周期钟进行下一次测量,从而将光脉冲分隔的两个暗长分别作为两个不同的暗期看待,只要光脉冲分隔的前后两个暗期的长度短于临界暗长,滞育就被有效抑制[13, 33]。光脉冲对棉铃虫滞育反应的影响,不存在上述第(2)种作用,即与分隔的暗期长度无关,光脉冲可能起“启动或调整光周期钟”作用。

据 Furunishi 等报道,在24 h 昼夜循环的长夜光周期中,1 h 光脉冲出现在比临界暗期少1 h 左右的位点

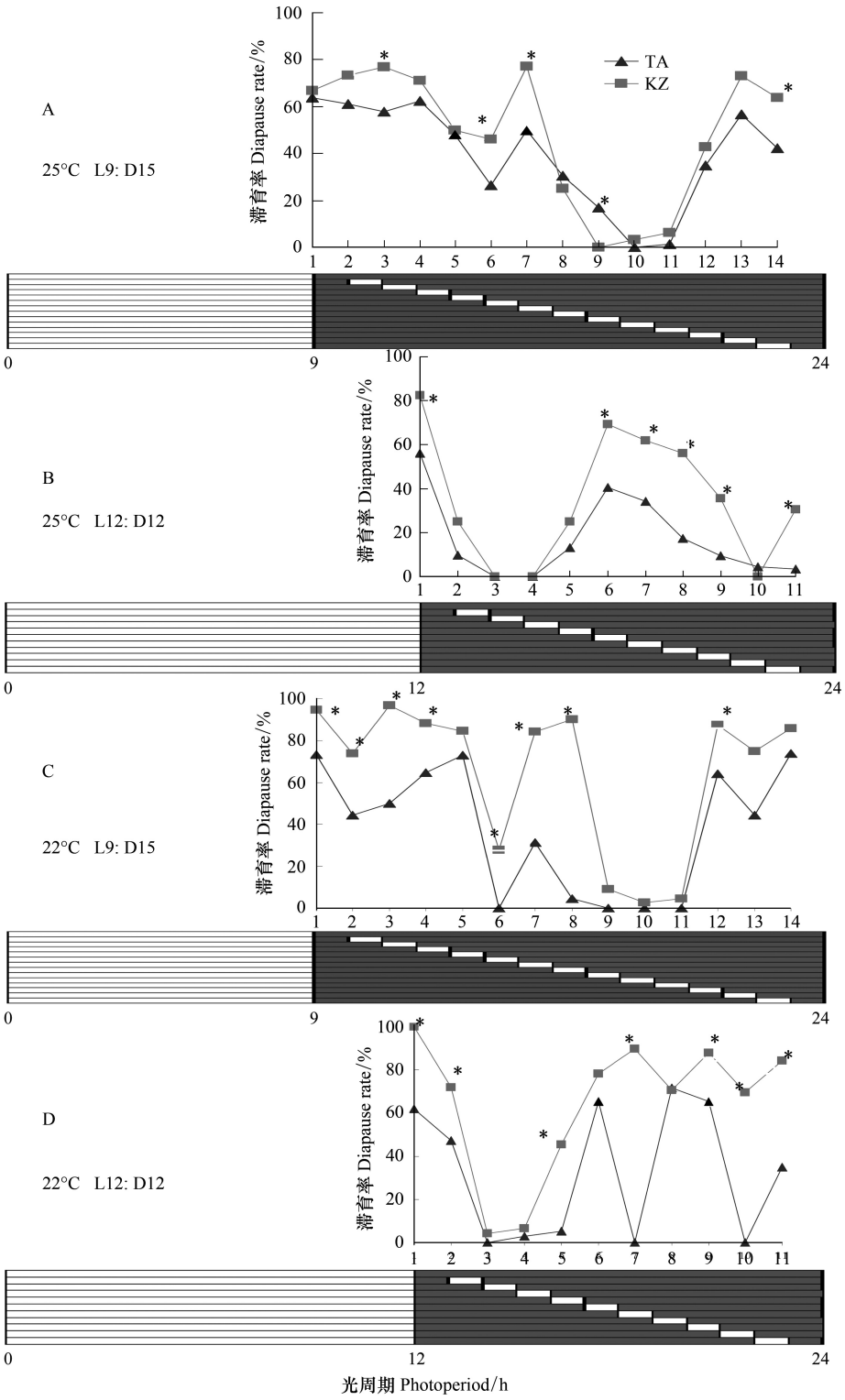

图 2 棉铃虫 TA 种群和 KZ 种群在 25℃和 22℃、光周期 L9 :D15 和 L12 :D12 下，暗期不同时段采用 1h 光脉冲的滞育反应

Fig. 2 The incidence of diapause between Taian and Kazuo populations of *H. armigera* under L9: D15 or L12: D12 at 25 ℃ or 22 ℃ when the scotophases were interrupted by the light pulse of 1h

图中“ * ”表示在相同光脉冲点两种群滞育率有显著性差异(Chi-Square 检验,$P<0.05$)

上时,滞育抑制效果最好[34]。本研究在短光周期 L9:D15 条件下 1h 的暗期干扰试验也得到相似的结果,25℃时,TA 种群 1 h 光脉冲出现在暗期第 10—11 小时位点(临界暗长 11.7 h),KZ 种群 1 h 光脉冲出现在暗期第

9—10 小时位点(临界暗长 10.5 h),滞育抑制效果最好(几乎 100% 个体发育)(图 2A);22℃时,TA 种群在暗期第 9—11h 位点(临界暗长 11.5 h),KZ 种群在暗期第 10 h 位点(临界暗长 10.3 h),光脉冲敏感性最高(100% 个体发育)(图 2C)。然而,在短光周期 L12:D12 条件下,这两个种群的光脉冲最敏感期出现在暗期的第 3—4 h,其被光脉冲分隔后的暗期长度为 8—9 h(图 2B、D),没有接近临界暗长。这说明,光脉冲对滞育的抑制效果与干扰的光周期背景有关。

此外,光脉冲对滞育的抑制效果与试验温度也密切相关[6, 13]。这点在本实验中也得到证实,在不同的光周期背景下,温度与抑制效果呈现出不同的关系。在光周期 L9:D15 条件下,两种群在 22℃比在 25℃光脉冲敏感位点更多(图 2A、C),相对应位点的光脉冲滞育抑制效果更强,特别是 TA 种群在 22℃下 1 h 光脉冲最敏感位点是暗期启动后的第 6—11 h,表现出现了很宽的滞育抑制槽,而 25℃下则为第 10—11 h;在 L12:D12 条件下,则出现相反的情况,两种群各自相同位点的 25℃下的光脉冲敏感性均比 22℃强,特别是在暗期的后期表现更明显(图 2B、D)。

棉铃虫暗期干扰实验也进一步提示了,即使在同种昆虫中,暗期干扰的反应模型及其对滞育的抑制效果也会随所干扰的地理种群的不同,干扰的光周期背景不同和实验温度的差异而发生变化。

References:

[1] Dickson R C. Factors governing the induction of diapause in the oriental fruit moth. Annals of the Entomological Society of America, 1949, 42: 511-537.

[2] Saunders D S. Insect Clock. 3rd ed. Academic Press, New York, 2002.

[3] Veerman A. Photoperiodic time measurement in insects and mites a critical evaluation of the oscilator-clock hypothesis. Journal of Insect Physiology, 2001, 47: 1097-1109.

[4] Goryshin N I, Tyshchenko V P. Physiological mechanism of photoperiodic reaction and the problem of endogenous rhythms. In: Danilevskii AS ed. Photoperiodic Adaptations in Insects and Acari. Leningrad University Press, 1968: 192-269 (In Russian).

[5] Goto S G, Numata H. Possible involvement of distinct photoreceptors in the photoperiodic induction of diapause in the flesh fly *Sarcophaga similes*. Journal of Insect Physiology, 2009, 55: 401-407

[6] He H M, Xian Z H, Liu X P, Huang F, Xue FS. Photoperiodism of diapause induction in *Thyrassia penangae* (Lepidoptera: Zygaenidae). Journal of Insect Physiology, 2009, 55: 1003-1008.

[7] Kikukawa S, Kubota H, Ohkouch H, Tateiwak K. The effect of temperature and light pulses on the induction of diapause in the Toyama strain of the India meal moth, *Plodia interpunctella*. Physiological Entomology, 1998, 23: 249-254.

[8] Peterson D M, Hamner WM. Photoperiodic control of diapause in the codling moth. Journal of Insect Physiology, 1968, 14: 519-528.

[9] Roditakis N E, Karandinos MG. Effects of photoperiod and temperature on pupal diapause induction of grape berry moth *Lobesia botrana*. Physiological Entomology, 2001, 26: 329-340.

[10] Saunders D S. 'Skeleton' Photoperiods and the Control of Diapause and Development in the Flesh-Fly, *Sarcophaga argyrostoma*. Journal of Comparative Physiology A, 1975, 97(2): 97-112

[11] Han R D, Xue F S, He Z, Ge F. Diapause induction and clock mechanism in the pine caterpillar *Dendrolimus tabulaeformis* (Lep., Lasiocampidae). Journal of Applied Entomology, 2005, 129: 105-109.

[12] Wang X P, Ge F, Xue F S, You L S. Diapause induction and clock mechanism in the cabbage beetle, *Colaphellus bowringi* (Coleoptera: Chrysomelidae). Journal of Insect Physiology, 2004, 50: 373-381.

[13] Wei X T, Xue F S, Li A Q. Photoperiodic clock of diapause induction in *Pseudopidorus fasciata* (Lepidoptera:Zygaenidae). Journal of Insect Physiology, 2001, 47: 1367-375.

[14] Xiao H J, Wu X F, Wang Y, Zhu X F, Xue F S. Diapause induction and clock mechanism in the cabbage butterfly *Pieris melete* Ménétriés. Journal of Insect Physiology, 2009, 55: 488-493.

[15] Xiao H J, Mou F C, Zhu X F, Xue F S. Diapause induction, maintenance and termination in the rice stem borer *Chilo suppressible* (walker). Journal of Insect Physiology, 2010., 56: 1558-1564.

[16] Masaki S. Unity and diversity in insect photoperiodism. In: Photoperiodic regulation of insect and molluscan hormones. Pitman, London, 1984: 7-25 (Ciba Foundation Symposium No. 104).

[17] Adkisson P L. Action of the photoperiod in controlling insect diapause. American Naturalist, 1964, 98: 357-374.

[18] Ankersmit G W. The photoperiod as a control agent against *Adoxophyes reticulana* (Lepidoptera: Tortricidae). Entomologia experimentalis et applicata, 1968, 11: 231-240.

[19] Saunders D S. Photoperiodism and time measurement in the parasitic wasp, *Nasonia vitripennis*. Journal of Insect Physiology, 1968, 14: 433-450.

[20] Lees A D. Photoperiodic time measurement in the aphid *Megoura viciae*. Journal of Insect Physiology, 1973, 19: 2279-2361.

[21] Vaz Nunes M, Veerman A. Photoperiodic time measurement in apider mites. Ⅱ. Effects of skeleton photoperiods. Journal of Comparative Physiology A, 1979, 134: 219-226.

[22] Xue F S, Kallenborn H G, Wei H Y. Summer and winter diapause in pupae of the cabbage butterfly, *Pieris melete* Menetries. Journal of Insect Physiology, 1997, 43: 701-707.

[23] Saunders D S. Insect clocks. New York: Pergamon Press, 1976: 280.

[24] Beach R F, Craig G B. Night length measurement by the circadian clock controlling diapause induction in the mosquito *Aedes atropalpus*. Journal of Insect Physiolog, 1977, 23: 865-870.

[25] Kono Y. Photoperiodic induction of diapause in *Pieris rapae crucivora* Boisduval (Lepidopera: Pieridae). Applied Entomology and Zoology, 1970, 5: 213-224.

[26] Kikukawa S, Rou R, Sugimoto M. Effect of light pulses in early scotophase on resetting of the night-measuring diapause clock of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. Physiological Entomology, 2005, 30: 256-261.

[27] Kikukawa S, Higuchi A, Ikeda T, Mukai T, Okamoto H, Tanaka K, Yaguchi S. Determination of effective light pulse and classical Bünsow experiment in the larval diapause of the Indian meal moth *Plodia interpunctella*. Physiological Entomology, 2009, 34 (4): 333-337.

[28] Wu K M, Guo Y Y. Investigations on the migration and diapause in *Helicoverpa armigera*-Diapause responses of different geographical populations of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* Hübner. Agricultural Sciences in China, 1997, 30(3): 1-6.

[29] Wu K J, Gong P Y. A new and practical artificial diet for the cotton bollworm. Entomologia Sinica, 1997, 14(3): 277-282.

[30] Liang G M, Tan W J, Guo Y Y. Technical improvement of cotton bollworm in artificial rearing. Plant Protection, 1999, 25(2): 15-17.

[31] Cullen J M, Browning T O. The influence of photoperiod and temperature on the induction of diapause in pupae of *Heliothis punctigera*. Journal of Insect Physiology, 1978, 24(8/9): 595-601.

[32] Pittendrigh C S. The circadian oscillation in *Drosophila pseudoobscura* pupae: a model for the photoperiodic clock. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, 1966, 54: 275-307.

[33] Wu S H, Li F, Zhou Y C, Xue F S. Night-interruption response of diapause induction in *Pseudopidorus fasciata* (Lepidoptera: Zygaenidae). Acta Entomologica Sinica, 2007, 50(7): 703-708.

[34] Furunishi S, Masaki S, Hashimoto Y, Suzuki M. Diapause responses to photoperiod and night interruption in Mamestra brassicae (Lepidoptera: Noctuidae). Applied Entomology and Zoology, 1982, 17(3): 398-409.

参考文献：

[28] 吴孔明, 郭予元. 棉铃虫迁飞与滞育的研究——我国各棉区棉铃虫滞育诱导的光温反应特点. 中国农业科学, 1997, 30(3): 1-6.

[30] 梁革梅, 谭维嘉, 郭予元. 人工饲养棉铃虫技术的改进. 植物保护, 1999, 25(2): 15-17.

[33] 吴少会, 李峰, 周昱晨, 薛芳森. 暗期干扰对环带锦斑蛾滞育诱导的影响. 昆虫学报, 2007, 50(7): 703-708.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 18 September, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

Scientific Note

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933　　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号　**电　　话**: (010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@ rcees. ac. cn　　**网　　址**: www. ecologica. cn

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 32 卷　第 18 期　(2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32　No. 18 (September, 2012)

编　　辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主　　编	冯宗炜
主　　管	中国科学技术协会
主　　办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1R00717
印　　刷	北京北林印刷厂
发　　行	科学出版社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg. net
订　　购	全国各地邮局
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg. net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933　CN 11-2031/Q　　国内外公开发行　　国内邮发代号 82-7　　国外发行代号 M670　　定价 70.00 元