

温度对意大利蝗生长发育的影响^{*}

赵忠伟^{1, 2**} 张英财¹ 曹广春¹ 张泽华^{1***}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所农业部作物有害生物综合治理重点实验室 北京 100081;
农业部锡林郭勒草原有害生物科学观测实验站 锡林浩特 026000;

2. 沈阳农业大学植物保护学院 沈阳 110161)

摘要 为了全面掌握意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 生长发育规律,明确该虫的越冬和适宜生长区域,为该虫预测预报和合理防治提供科学依据。本文研究了恒温条件下意大利蝗蝗卵越冬低温、各虫态发育起点温度和有效积温。研究结果表明意大利蝗蝗卵越冬低温高于 -20°C ;发育速率与温度呈线性正相关:卵、幼虫、雌成虫、雄成虫和雌成虫世代和雄成虫世代发育起点温度为 8.62、16.12、17.07、17.82、15.02、16.27 $^{\circ}\text{C}$,有效积温为 249.84、397.46、377.9、323.78、1053.82、931.53 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$;发育速率随着温度的升高而加快,同时通过测量发现 33 $^{\circ}\text{C}$ 意大利蝗雌虫和雄虫体重均最大。

关键词 意大利蝗,越冬低温,发育速率,最适温度

Influence of temperature on the development of *Calliptamus italicus*

ZHAO Zhong-Wei^{1, 2**} ZHANG Ying-Cai¹ CAO Guang-Chun¹ ZHANG Ze-Hua^{1***}

(1. Key Laboratory of Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract Only by fully understanding the development of *Calliptamus italicus* (L.) can outbreaks of this pest be predicted and prevented. Winter developmental threshold temperature (DTT) and effective accumulated temperature (EAT) were determined at constant temperatures. The results show that -20°C was the critical temperature with regard to hatching. The DTTs of the *C. italicus* eggs, larvae, adult females, adult males and an entire generation of females and males were 8.62, 16.12, 17.07, 17.82, 15.02 and 16.27 $^{\circ}\text{C}$ respectively and the respective EATs of these life-stages were 249.84, 397.46, 377.9, 323.78, 1053.82 degree-day and 931.53 degree-day. Growth rates increased with temperature. Adult female and male body weights were heaviest at 33 $^{\circ}\text{C}$.

Key words *Calliptamus italicus*, critical temperature through the winter, growth rate, optimum temperature

意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.), 属直翅目 (Orthoptera), 蝗总科 (Acridoidea), 斑腿蝗科 (Acridoidea) 星翅蝗属 (*Calliptamus* Serville) (李鸿昌和夏凯龄, 2006)。分布于西欧至中亚的广大地区,在伊朗和阿富汗也暴发频繁 (Larami, 1967)。世界范围内意大利蝗不仅发生面积广,其造成的危害也相当严重,仅 2000 年哈萨克斯坦达到防治

指标面积的就有 685.7 万 hm^2 (黄辉和朱恩林, 2001)。我国意大利蝗分布于新疆和青海的部分荒漠、半荒漠地区 (李鸿昌和夏凯龄, 2006),其取食范围达 17 科 45 种植物,喜食冷蒿、新疆鼠尾草、黄花苜蓿等,因此对草原植被破坏巨大,特别是对土地荒漠化具有明显的加剧作用 (陈永林, 2000; 李鸿昌和夏凯龄, 2006)。近年来,随着全球

* 资助项目:公益型行业(农业)科研专项“我国迁移性蝗害绿色防控技术研究 with 示范”(20090321);公益性行业专项“草原虫害监测预警及防控技术研究 with 示范”(201003079)。

** E-mail: zhaozhong1985@163.com

*** 通讯作者, E-mail: lgbcc@263.net

收稿日期: 2011-11-15, 接受日期: 2012-04-26

气候变化,意大利蝗在新疆频繁发生,2007 年意大利蝗在新疆危害面积就高达 196.2 万 hm^2 ,2010 年塔城地区裕民县意大利蝗发生面积 1.33 万 hm^2 ,其中严重危害面积 6 700 hm^2 (新疆畜牧信息网),2011 年哈巴河县发生意大利蝗面积 10 万 hm^2 ,严重危害面积 4.53 万 hm^2 (CCTV《中国县域经济报道》2011 年 6 月)。

发育起点温度和有效积温是判定昆虫生境的重要指标,同时也是准确测报发生期进而明确防治期的关键(吴佳教等,2003),因此测得害虫某一虫态或龄期的发育起点温度和有效积温,便可结合当地气象预报资料,应用有效积温法则预测下一虫态或龄期的发生期,从而及时安排合理的防控措施(向玉勇等,2011)。随着意大利蝗危害的日益严重,已经引起相关专家学者的重视,国内对意大利蝗的研究主要集中在生物学及防治方面(薛志平等,2010;张洋等,2011;赵忠伟等,2011)。对于温度与意大利蝗生长的影响,乌麻尔别克和熊玲(2007)曾对意大利蝗蝗卵发育起点温度进行过测定,并得出有效积温 124.6 $\text{日} \cdot \text{度}$,发育起点温度 15.52 $^{\circ}\text{C}$,其研究结果为本文试验设计提供了指导。

有关温度对昆虫生长发育影响的研究大致分为两方面,一方面温度对昆虫发育速率的影响(Davidson, 1944; Campbell *et al.*, 1974; Briere *et al.*, 1999; Brown *et al.*, 2004),另一方面温度对昆虫体重的影响(Huey and Kingsolver, 1989)。这两方面的研究往往被孤立起来,温度高昆虫发育速率快,但体重不一定增加即不一定适合其生长。本文将这两个因子结合起来,系统研究不同温度条件下意大利蝗生长发育速率并根据成虫体重找到适合意大利蝗生长发育的环境温度。

1 材料与方法

1.1 试验材料

意大利蝗卵:2010 年 9 月采自新疆阿勒泰地区哈巴河县,地理坐标: $\text{N}48^{\circ}4.285'$; $\text{E}86^{\circ}24.187'$,海拔 537 m;卵的孵化及蝗蛹期、成虫期在中国农科院植物保护研究所完成。

实验仪器:培养箱湿度 $\text{RH} \approx 45\% \pm 5\%$,光照周期 L:D = 14:10。(宁波海曙赛福 PRX-350B-30);冰箱(海尔 BCD-268WSV);温湿度记录仪(HOBO-Pro-v2)。

1.2 低温处理意大利蝗卵方法

将卵块置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存 90 d,解除滞育。试验设 4、0、-4、-8、-12、-16、-20 $^{\circ}\text{C}$ 7 个低温梯度,将卵块置于灭菌沙土钵中,各温度梯度处理 72 h,处理后将卵置于含水量 20% 蛭石钵中,于 30 $^{\circ}\text{C}$ 培养箱孵化,每个处理 30 粒蝗卵,重复 4 次。

1.3 发育起点温度、有效积温测定方法

将卵块置于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存至次年 3 月,将完全解除滞育的意大利蝗蝗卵置于灭菌蛭石钵中,保鲜膜保湿孵化。孵化温度 18、21、24、27、30、33 $^{\circ}\text{C}$,每处理 40 粒卵,重复 5 次。每日 3 次记录孵化时间。

将孵化后的蝗蛹置于养虫筐(21 cm $\times$ 16.5 cm $\times$ 4.6 cm),在 24、27、30、33、36、39 $^{\circ}\text{C}$ 温度下以新鲜麦苗饲养,每处理 15 头,重复 5 次。每日 3 次记录龄期。

1.4 数据处理

目前计算发育起点温度和有效积温的常用方法有:直线回归法、最小变异系数法、直接最优法、最优化法等,由于本研究所设温度的所有蝗虫均能顺利完成发育,故根据发育速度与温度的数学模型选择直线回归法(Lindsey and Newman, 1956; 李超,1985,1987;李典谟和王莽滢,1986;丁欣岩,1994;张孝羲,2002)。意大利蝗雌虫在孵出刹那即伴随着蜕皮,进入第 2 龄期,雌虫 1 龄的发育温度由于时间太短无法计算,因此本研究对意大利蝗雌虫和雄虫的描述均为 5 个龄期。将每一虫态在不同温度下的发育时间取平均值作为意大利蝗在该温度下的发育历期。根据直线回归法由以下公式求得意大利蝗蝗卵、蝗蛹和成虫的发育起点温度(C)、有效积温(K)、发育起点标准误(S_c)及有效积温标准误(S_k)。

计算公式:

$$T = C + KV,$$

$$C = (\sum V^2 \cdot \sum T - \sum V \cdot \sum VT) / [n \sum V^2 - (\sum V)^2],$$

$$K = (n \sum VT - \sum V \cdot \sum T) / [n \sum V^2 - (\sum V)^2],$$

$$S_k = \sqrt{\sum (T - T')^2 / [(n - 2) \sum (V - \bar{V})^2]},$$

$$S_c = \sqrt{\sum [(T - T')^2 / (n - 2)] \cdot [1/n + \bar{V}^2 / \sum (V - \bar{V})^2]}.$$

式中: n :试验组数; V :发育速率, $V = 1/N$; N :发育历期(d); T :发育历期的日平均温度($^{\circ}\text{C}$)(丁欣岩,1994)。

所有试验数据的统计分析均采用 SAS One-way ANOVA(SAS,1988;惠大丰和姜长鉴,1996)。

2 结果与分析

2.1 意大利蝗实验室种群的建立

意大利蝗食性较广,实验室条件下选择小麦作为食物。且作者长期观察得出意大利蝗有自残

性,为防止其自残,可在养虫笼内铺设一层干麦秸,这样不仅增加其活动空间,防止大规模聚集,且增加其食物来源。意大利蝗自残主要发生在2龄以后,可在该过程中加喂麦麸或泡麦粒(清水浸泡24 h)。意大利蝗雌虫刚孵出时,会出现蜕皮现象,如图1:A所示,为更为方便的表示意大利蝗的龄期,本研究将雌虫和雄虫龄期均划为5个龄期。

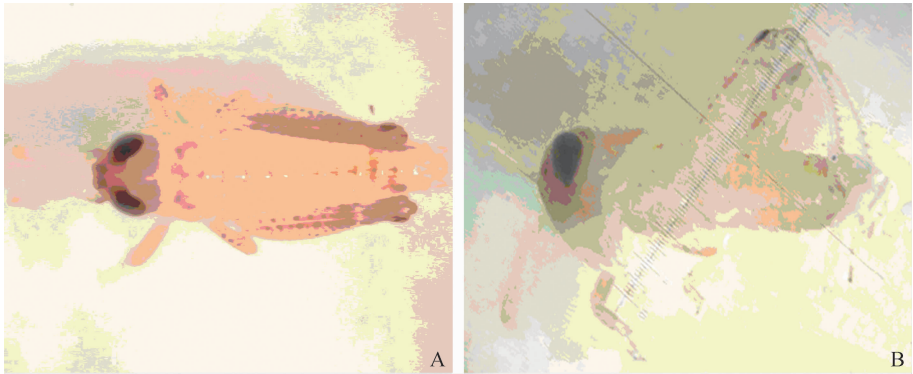


图1 意大利蝗雌虫孵化时蜕皮

Fig.1 *Calliptamus italicus* molting after egg hatch

A. 背面观 dorsal view; B. 侧面观 lateral view.



图2 意大利蝗室内饲养

Fig.2 Feeding *Calliptamus italicus* in laboratory

A:1龄蝗蚴;B:2龄和3龄蝗蚴;C:4龄蝗蚴;D:5龄蝗蚴和成虫。

A:1st instar;B: 2nd and 3rd instar;C:4th instar;D:5th instar and adult.

整个意大利蝗蛴期和成虫期形态如图 2 所示,1 龄蝗蛴从卵壳孵出后体色透明,身体柔软,如图 1: B,在 1 h 内,体色迅速变黑,1 龄期蝗蛴喜欢聚集在温度较高,向光的地方,适应能力最强(图 2: A)。2 龄和 3 龄期蝗蛴体色较 1 龄蝗蛴体色变淡,翅芽没有分化,适应能力较弱,死亡率最高(图 2: B)。自 4 龄起开始出现翅芽,且前胸背板颜色变为棕色,适应环境的能力较强,取食量加大(图 2: C)。5 龄期蝗蛴翅芽超过第 2 腹节,前胸背板颜色与成虫相仿(图 2: D)。

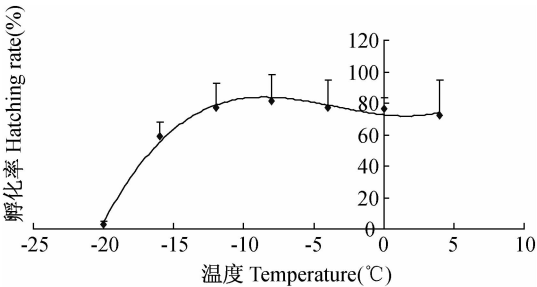


图 3 低温对意大利蝗卵孵化率的影响
Fig. 3 *Calliptamus italicus* eggs hatching effected by critical temperature

2.3 温度对意大利蝗发育历期的影响

不同温度条件下意大利蝗各虫态(龄)的发育历期如表 1 所示。由结果看出温度对意大利蝗的各发育阶段发育历期有极显著的影响($P < 0.01$),发育速率随着温度的升高而加快,意大利蝗各虫态(虫龄)发育历期均缩短。其中 18℃ 意大利蝗蝗卵的发育历期比 33℃ 增加 12.29 d,整个幼虫期 24℃ 与 39℃ 相比增加了 29.38 d,24℃ 与 33℃ 相比,雌成虫期增加了 24.61 d,雄成虫增加了 28.03 d。可见,其它条件不变的情况下,意大利蝗的发育所需时间随温度升高而缩短,温度是影响意大利蝗发育的重要因子之一。

根据有效积温法则的基本假设:一定的温度范围内,昆虫的发育速率与温度呈正相关。为此将表 1 中的各虫态(龄)发育历期转换为发育速率 $v = 1/D$,计算出各温度条件下意大利蝗各虫态(龄)发育速率与温度的相关性(表 2),可知在本实验所设定的温度范围内,意大利蝗各虫态的发育速率与温度之间具有极好的线性相关性。

2.4 意大利蝗的发育起点温度及有效积温

根据相关公式计算得出各发育阶段意大利蝗

2.2 低温对意大利蝗卵孵化率的影响

由图 3 看出,意大利蝗孵化率随温度变化而变化,并具有很强的线性相关性 $y = 0.0002x^3 + 0.0024x^2 - 0.0095x + 0.7268$ ($R^2 = 0.9905$, $P < 0.01$)。据此可在理论水平上根据低温条件,求出该低温意大利蝗的孵化率。结果得出孵化率在 4、0、-4、-8、-12、-16℃ 处理间无显著差异,与 -20℃ 处理极显著差异,-20℃ 处理蝗卵的孵化率仅 3%。

发育起点温度和有效积温如表 3 所示。由结果可看出意大利蝗 3 龄蝗蛴的发育起点温度最高,为 20.78℃,5 龄、2 龄、4 龄和 1 龄依次降低。卵的发育起点温度最低为 8.62℃,卵的有效积温为 249.84 日·度,幼虫期 1 龄蝗蛴和 4 龄蝗蛴有效积温较高。经计算得出整个幼虫期有效积温为 397.46 日·度。意大利蝗成虫期雌虫发育起点温度要比雄虫低 0.75℃,但有效积温比雄虫高 54.12 日·度,说明意大利蝗雌虫比雄虫提前羽化,与当地情况相符。

2.5 温度对意大利蝗成虫体重的影响

在意大利蝗羽化成虫当天测量成虫的体重,结果发现意大利蝗雌成虫体重极显著高于雄成虫($P < 0.01$)。温度由 39℃ 到 33℃,雌成虫和雄成虫体重均逐渐升高,雌虫温度与体重的关系为 $y = -0.0018x^2 + 0.105x - 0.9054$, $R = 0.73$,当温度为 29.17℃ 时体重最大;雄虫温度与体重的关系为 $y = -0.0014x^2 + 0.0971x - 1.4026$, $R = 0.76$,当温度为 34.68℃ 时体重最大。但温度从 33℃ 到 30℃ 时,体重减小。温度为 33℃ 时,意大利蝗雌虫和雄虫的体重均最重(图 4)。

表 2 发育速率与温度的线性回归方程

Table 2 Linear regression equation of growth rate of *Calliptamus italicus* with temperature

虫态 Stage	V 与 T 的关系 Relationship between V and T	R	P
卵 Egg	$V = 0.0037T - 0.0262$	0.958	<0.01
1 龄蝗蛹 1st instar	$V = 0.0134T - 0.2165$	0.962	<0.01
2 龄蝗蛹 2nd instar	$V = 0.0172T - 0.3133$	0.984	<0.01
3 龄蝗蛹 3rd instar	$V = 0.0171T - 0.3375$	0.952	<0.01
4 龄蝗蛹 4th instar	$V = 0.0137T - 0.2348$	0.965	<0.01
5 龄蝗蛹 5th instar	$V = 0.0164T - 0.3065$	0.962	<0.01
幼虫期 Larva	$V = 0.0029T - 0.0502$	0.954	<0.01
雌成虫 Female	$V = 0.0025T - 0.0393$	0.935	<0.01
雄成虫 Male	$V = 0.0023T - 0.0357$	0.932	<0.01
雌虫世代 Female generation	$V = 0.0011T - 0.017$	0.985	<0.01
雄虫世代 Male generation	$V = 0.0009T - 0.014$	0.989	<0.01

表 3 意大利蝗发育起点温度与有效积温

Table 3 DTT and EAT of *Calliptamus italicus*

虫 龄 Stage	C(℃)	S _c	K(日·度)	S _k	发育预测模型 Predictive models of growth
卵 Egg	8.62	2.72	249.84	37.29	$T = (249.84 + 37.29)/N + (8.62 + 2.72)$
1 龄蝗蛹 1st instar	16.96	1.89	69.06	11.31	$T = (69.06 + 11.31)/N + (16.96 + 1.89)$
2 龄蝗蛹 2nd instar	18.57	1.32	56.19	5.01	$T = (56.19 + 5.01)/N + (18.57 + 1.32)$
3 龄蝗蛹 3rd instar	20.78	2.03	53.00	8.44	$T = (53.00 + 8.44)/N + (20.78 + 2.03)$
4 龄蝗蛹 4th instar	18.08	2.05	67.82	9.19	$T = (67.82 + 9.19)/N + (18.08 + 2.05)$
5 龄蝗蛹 5th instar	19.60	2.02	56.35	8.26	$T = (56.35 + 8.26)/N + (19.60 + 2.02)$
蝗蛹期 Larva	16.12	1.37	397.46	37.10	$T = (397.46 + 37.10)/N + (16.12 + 1.37)$
雌成虫 Female	17.07	3.34	377.90	69.95	$T = (377.90 + 69.95)/N + (17.07 + 3.34)$
雄成虫 Male	17.82	8.74	323.78	163.91	$T = (323.78 + 163.91)/N + (17.82 + 8.74)$
雌虫世代 Female generation	15.02	5.35	1 053.82	162.10	$T = (1053.82 + 162.10)/N + (15.02 + 5.35)$
雄虫世代 Male generation	16.27	5.25	931.53	158.49	$T = (931.53 + 158.49)/N + (16.27 + 5.25)$

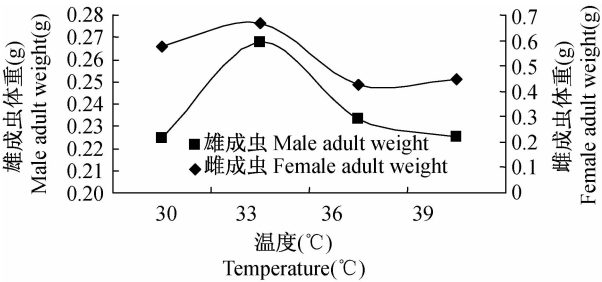


图 4 温度对意大利蝗成虫体重的影响

Fig. 4 *Calliptamus italicus* adult weight effected by different temperature

3 结论与讨论

温度是影响蝗虫生命活动的一个主导因子,本研究测定恒温条件下意大利蝗卵越冬低温、各虫态发育起点温度、有效积温和最适发育温度。结果表明孵化率在 -16°C 以上处理间无显著差异($P > 0.05$),与 -20°C 处理极显著差异($P < 0.01$),卵、幼虫、雌成虫、雄成虫和世代发育起点温度为 8.62 、 16.12 、 17.07 、 17.82 、 15.02 和 16.27°C ,有效积温为 249.84 、 397.46 、 377.9 、 323.78 、 1053.82 和 931.53 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。意大利蝗最适发育温度是 $29 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 。越冬低温的测定为蝗卵能否顺利越冬提供依据:当温度低于 -20°C 时,意大利蝗存活率大大降低,第二年意大利蝗爆发的可能性减少,这样就能通过冬季气温来预测第2年蝗虫发生情况,2010—2011年用HOBO温度记录软件测试实验站地表以下 $3 \sim 4$ cm温度测得冬季最低温度为 -7.06°C ,所以在当年温度条件下,该站意大利蝗可顺利过冬,同时说明产卵土层深度也对次年意大利蝗发生情况影响较大,土质较硬,产卵太浅的卵由于地表温度过低不能顺利越冬。发育起点温度和有效积温为准确预测预报提供依据:自2011年4月6日始 3 cm土层温度高于意大利蝗卵发育起点温度(8.62°C)至5月2日孵出,历经 26 d,该段时间有效积温为 218.53 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$,与室内测定值差 31.30 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$,初步判定与变温环境积温计算误差有关。发育最适温度的测定为适期防治提供依据: $29 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 意大利蝗生长最为旺盛,对当地草场的破坏力较大,据此得出该温度为防治意大利蝗的最佳时机,特别是饵料防治意大利蝗的最佳温度。温度只是影响生物体发育的因素之一,湿度、光、风等因素均会对发育起点有很大的影响(北京林业大学,1981;韦贝尔,1982),所以野外由于环境的多变,会一定程度上影响试验结果的准确性。

本实验在实验室种群建立的基础上进行意大利蝗研究,对意大利蝗实验室种群建立取得一定经验。意大利蝗喜欢干燥、温暖的环境,低龄期会出现大规模聚集现象,并有可能因为食物短缺而发生大范围自残现象,自残主要发生在蜕皮过程中。意大利蝗体色随龄期增大而变浅。温度越低不仅活动量减少,且死亡率高;温度越高活动(取食、跳跃、振翅等)越频繁。

乌麻尔别克和熊玲(2007)对意大利蝗卵测定发育起点温度为 15.52°C ,有效积温为 124.6 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$,本文结果与其存在较大差距,造成这种差距的原因可能与与试验卵的起始状态和滞育解除状态相关。从本文结果上看,意大利蝗发育起点温度较西藏飞蝗、狭翅雏蝗、中华稻蝗、亚洲飞蝗低,有效积温较高(西藏飞蝗卵发育起点温度 14.2°C ,有效积温 179.1 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$,全世代有效积温 787.8 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$;狭翅雏蝗全蝗蛹期的发育起点温度为 9.17°C ,有效积温为 190.7 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。中华稻蝗卵冬后发育起点温度为 $(14 \pm 1)^{\circ}\text{C}$;有效积温 (183 ± 16.5) 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 。亚洲飞蝗越冬卵发育起点温度 14.71°C ,有效积温 165.9 日 $\cdot^{\circ}\text{C}$)(姬庆文等,1990;刘长仲和冯光翰,1997;韩凤英,1999;王思忠和李庆,2005)。意大利蝗有效积温较高,故纬度太高或海拔太高对意大利蝗生长不利,不能完成整个世代,故需与当地气象资料结合判定意大利蝗可能发生的纬度和海拔。

意大利蝗作为新疆重要的草场害虫,每次暴发都会给当地牧民生产生活带来危害,当暴发严重时威胁草场生存,造成草场退化甚至危害生态环境。尽管国家和当地政府每年都会为预测和防治意大利蝗投入大量人力物力,但由于当地地广人稀,往往发现意大利蝗时,已经造成相当严重的危害,再用化学农药采取紧急防治措施不仅会给牲畜带来威胁并且污染环境。这样年复一年,不能从根本上有效制止其为害。本文通过研究温度对意大利蝗生长发育的影响,为预测意大利蝗发生区域和发生时间提供了科学依据。可以参照不同海拔和纬度的气象资料将意大利蝗发生区域进行规划,对符合意大利蝗生长的区域加大人力、物力进行重点检测。根据本研究结果及时预测意大利蝗孵化时间和各龄期发生时间,在造成受害之前进行科学有效的防治(赵忠伟等,2011)。

参考文献 (References)

- Briere JF, Pracros P, Le Roux AY, Pierre JS, 1999. A novel model of temperature-dependent development for arthropods. *Environ. Entomol.*, 28(1):22–29.
- Brown JH, Gillooly JF, Allen AP, Savage VM, West GB, 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 85(7):1771–1789.
- Campbell A, Frazer BD, Gilbert N, Gutierrez AP, Mackaue

- M, 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.*, 11(2):431–438.
- Davidson J, 1944. On the relationship between temperature and rate of development of insects at constant temperatures. *J. Anim. Ecol.*, 13(1):26–38.
- Huey RB, Kingsolver JG, 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherms: A discussion of approaches. *Amer. Zool.*, 19(1):357–366.
- Larami, 1967. University of Wyoming Locusts of Kazakhstan, Central Asia and adjacent territories. Larami: Association for Applied Akridology International, University of Wyoming. 387.
- Lindsey AA, Newman JE, 1956. Use of official weather data in spring time temperature analysis of an Indiana phonological record. *Ecology*, 37(4):817–873.
- SAS, 1988. SAS Language Guide, Release 6.03 Edition Cary, NC, USA.
- 北京农业大学主编, 1981. 昆虫学通论(下册). 农业出版社. 680–698.
- 陈永林, 2000. 蝗虫再猖獗的控制与生态学治理. 中国科学院院刊, (5):341–345.
- 丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 318–326.
- 韩凤英, 1999. 短额负蝗发育起点温度和有效积温的研究. 山西大学学报, 22(4):380–382.
- 黄辉, 朱恩林, 2001. 哈萨克斯坦蝗灾严重发生. 世界农业, (6):46–47.
- 惠大丰, 姜长鉴, 1996. 统计分析系统 SAS 软件实用教程. 北京: 北京航空航天大学出版社. 1–180.
- 姬庆文, 苏良聪, 陈继华, 1990. 中华稻蝗卵冬后发育起点温度和有效积温测定及其应用. 病虫测报, (2):35.
- 李超, 1985. 昆虫发育起点温度估值的一种新方法. 生态学报, 5(2):157–163.
- 李超, 1987. 棉铃虫在变温环境中发育起点温度的研究. 昆虫学报, 30(3):253–258.
- 李典谟, 王莽滢, 1986. 快速估计发育起点温度及有效积温的研究. 昆虫知识, 23(4):184–187.
- 李鸿昌, 夏凯龄, 2006. 中国动物志. 北京: 科学出版社. 576–578.
- 刘长仲, 冯光翰, 1997. 狭翅雏蝗发育起点温度和有效积温的研究. 四川草原, (4):49–54.
- 王思忠, 李庆, 2005. 西藏飞蝗发育起点温度和有效积温的研究// 成卓敏主编. 农业生物灾害预防与控制研究. 北京: 中国农业科技出版社. 576–578.
- 韦贝尔(魏德纳修订, 忻介六等译), 1982. 昆虫学纲要. 北京: 高等教育出版社. 543–581.
- 乌麻尔别克, 熊玲, 2007. 黑条小车蝗、意大利蝗和西伯利亚蝗发育起点温度及有效积温测定. 新疆畜牧业, (增刊):30–31.
- 吴佳教, 梁帆, 梁广勤, 2003. 橘小实蝇发育速率与温度关系的研究. 植物检疫科学, 13(5):17–18.
- 向玉勇, 尹培峰, 汪美英, 罗侠, 2011. 金银花尺蠖发育起点温度和有效积温的研究. 应用昆虫学报, 48(1):152–155.
- 薛志平, 张泉, 牙森·沙力, 王广君, 阿不都外力·伊玛木, 肖宏伟, 2010. 意大利蝗取食特性及损失估计研究. 植物保护, 36(1):95–98.
- 张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 218–219.
- 张洋, 高松, 牙森·沙力, 曹广春, 张泽华, 2011. 群居型、散居型意大利蝗形态特征的数量分析. 应用昆虫学报, 48(4):854–861.
- 赵忠伟, 张洋, 曹广春, 高松, 牙森·沙力, 张泽华, 2011. 三种几丁质合成抑制剂对意大利蝗的防治研究. 应用昆虫学报, 48(4):909–914.