短时间高温处理对麦长管蚜的致死效应*

阳任峰 李克斌 尹 姣 杜光青 曹雅忠**

(中国农业科学院植物保护研究所植物病虫害生物学国家重点实验室 北京 100193)

摘 要 为了探索高温防控麦蚜的技术,本实验设置系列短时间高温处理(45℃,30、40、50、60、70、80、90 s;50℃,5、10、15、20、25、30、35、40 s;55℃,5、10、15、20 s;60℃,5、10、15 s;65℃,5、10 s;70℃,5 s),测定了麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius)若蚜及成蚜的死亡率。结果表明:在同一温度下,随着处理时间的延长,麦长管蚜的死亡率上升;在相同处理时间下,随着温度的升高,其死亡率上升。在45℃条件下,需要近90 s其死亡率才能达到100%;在70℃下,100%死亡率仅需5 s。麦蚜的半致死温度随着处理时间的延长而降低,麦蚜的半致死时间随着处理温度的上升而缩短。通过logistics模型分析发现,在相同处理下,若蚜的半致死温度和半致死时间均高于成蚜。

关键词 麦长管蚜,高温,死亡率,半致死温度,半致死时间

The lethal effect of extreme high-temperature on *Sitobion avenae*

YANG Ren-Feng LI Ke-Bin YIN Jiao DU Guang-Qing CAO Ya-Zhong**

(State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract Detailed experiments were conducted to explore the effects of brief exposure to extreme high-temperature (45℃,30、40、50、60、70、80、90 s;50℃,5、10、15、20、25、30、35、40 s;55℃,5、10、15、20 s;60℃,5、10、15 s;65℃,5、10 s;70℃,5 s) on wheat aphids *Sitobion avenae* (Fabricius) and to measure mortality rates of adults and nymphs. Mortality rates were found to increase with increasing temperature and duration of exposure. The time to complete death of all test animals was 90 s at 45℃, but just 5 s at 70℃. The half-lethal temperature decreased with increased treatment time and the half-lethal time decreased with increasing temperature. A logistic model indicates that, under the same conditions, the half-lethal temperature and the half-lethal time of adults are higher than those of nymphs.

Key words *Sitobion avenae*, high temperature, mortality rate, half-lethal temperature, half-lethal time

麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius)是各小麦产区麦蚜的优势种,发生量大,危害期长,同时还传播病毒病,造成的损失非常严重。目前,我国防治麦蚜主要依赖化学农药。麦蚜的猖獗为害,导致化学农药用量的不断增加和滥用农药现象日趋严重;在控制麦蚜的同时也带来了环境污染、种植成本提高、杀伤天敌、不同程度的抗药性和麦蚜再猖獗的问题(曹雅忠等,2006)。因此,探索麦蚜的无害化防治技术,不仅有利于小麦的无害化生产,而且在防止环境污染、促进农田生态平衡、提高农产品质量方面具有重要的意义。

昆虫是变温动物,保持和调节体内温度的能力不强,环境温度影响其生命活动中全部化学反应的速率,并决定蛋白质的空间结构。因此,温度是影响昆虫生长发育、生殖及存活等生命活动的最重要因素(Ratte,1984)。在适宜的温度下,昆虫能够完成各项生命活动,并且随着温度的升高,昆虫的生长发育速度加快,但是当温度上升到一定程度时,昆虫的生理生化特征乃至生命活动会发生重大改变。过高的温度不仅产生对昆虫生长受阻、无法完成发育、抑制生殖等影响,而且在极端的高温条件下,能够短时间内直接杀死昆虫(王永

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103022)。

** 通讯作者,E-mail:yzcao@ippcaas.cn

收稿日期:2013-01-22,接受日期:2013-03-14

宏等,2002;韩瑞东等,2005;刘向东等,2007)。

利用高温防治害虫在全世界有着悠久的历史。在西方,很早就有关于利用高温防治农业害虫的报道。Hansen(2011)等分析高温防治害虫的历史时,发现早在 1913 年就已有利用热蒸汽防治水果和蔬菜上害虫的实例。目前利用高温防治害虫的应用主要在检疫、仓储、卫生等领域(Mourier and Poulsen,2000;Tang *et al.*,2000;Hansen *et al.*,2004;Massa *et al.*,2011)。并在高温防治目标害虫造成其生理生化机制方面开展了一系列的研究,实验表明,昆虫受到高温伤害后,其生理生化会发生改变,主要导致其体内水分胁迫、离子失衡、体壁破坏、蛋白质失活等(Francis and Jean-Marc,2001)。近年来,随着食品安全问题频繁出现,引起了大家的极大关注,绿色农业,有机农业得到了极大的发展,从而带动了高温防控害虫的研究热潮(马春森等,2008)。

利用高温防治害虫,首先要明确在短时间高温下害虫的致死效应,了解昆虫在高温下的生物学特性。本文通过试管水浴加热的方法,测定在不同的短时间高温下麦长管蚜的致死效应,为今后研究利用高温防治麦长管蚜的实用技术奠定基础,并为防治其他害虫(尤其是蚜虫)提供有益的借鉴。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

麦长管蚜采自河北省廊坊市中国农业科学院廊坊科研中试基地,在实验室接种在“中旱 101”的小麦苗上定殖饲养。饲养条件为:温度(20 ± 1)℃,光照 L∶D = 13∶11,湿度 75% 左右。从养虫室内饲养的麦长管蚜种群内挑选无翅成蚜,置于新鲜的小麦苗上饲养繁殖,将其新产的若蚜放置于新鲜麦苗上,用罩笼罩上,防止其他的麦蚜进入,在养虫室内继续饲养,取进入 2 龄末若蚜(饲养的第 4 日龄蚜虫)和成虫(第 8 日龄蚜虫),以供室内短时间高温对蚜虫的致死效应实验。

1.2　试验方法

处理温度及处理时间设置:45℃,30、40、50、60、70、80、90 s;50℃,5、10、15、20、25、30、35、40 s;55℃,5、10、15、20 s;60℃,5、10、15 s;65℃,5、10 s;70℃,5 s。

高温处理:采用水浴箱加热试管的方法对麦长管蚜进行高温短时间处理。先将水浴箱调整到所需温度,然后将试管架及若干试管放置于水浴箱内预热 20 min 左右,将温度计放置于试管内监测试管内温度达到所需的试验温度后,再将挑选的若蚜、成蚜连同着生的麦叶一起放入试管内,每个处理为 20 头蚜虫。开始计时,达到设定的处理时间将试管取出;然后在其试管内放入麦苗,再用纱布封住试管口,置于原饲养条件(温度 20℃、光照 L∶D = 13∶11、75% RH)下,24 h 后调查麦长管蚜的死亡率。每个处理重复 3 次。

1.3　数据处理方法

试验数据采用 SAS9.1 版本统计软件进行分析。不同处理间差异显著性检验的统计分析,在同一温度下成蚜之间或者若蚜之间的差异采用 One-Way ANOVA/LSD 方法分析,同一温度相同处理时间成、若蚜之间的差异采用 t 检验方法分析。确定差异显著水平为 $P < 0.05$。采用 logistics 模型建立麦长管蚜死亡率与处理温度、麦长管蚜死亡率与处理时间的函数关系,计算半致死温度以及半致死时间。

2　结果与分析

2.1　短时间高温处理对若蚜存活的影响

在 45℃条件下,麦长管蚜经处理 30 s 和 40 s 后试虫可全部存活;50 s 时死亡率达到 15% 以上,处理 80 s 时,其死亡率超过 90%;处理 90 s 时,测试的蚜虫全部死亡(图 1)。在 50℃条件下,处理 5 s 和 10 s 麦长管蚜可全部存活(图 2);但从处理 15 s开始,随着处理时间的延长麦长管蚜存活率不断下降即死亡率迅速上升,处理 40 s 时,其死亡率达到 100%。在 55℃条件下(图 3),处理 5 s 蚜虫就开始出现死亡,处理 10 s 后蚜虫的存活率还有 80%(死亡率 20%)左右,但处理 15 s 后其死亡率就达到 75% 左右;处理 20 s 后蚜虫已全部死亡。在 60℃条件下(图 4),处理 5 s 蚜虫的存活率接近 70%;但处理 10 s 后,蚜虫的存活率迅速下降到 30%(死亡率 70%)左右;处理 15 s 后蚜虫全部死亡。在 65℃条件下,处理 5 s 后蚜虫存活仅有 10% 左右,处理 10 s 后即全部死亡;温度达到 70℃后,处理 5 s 后就无存活试虫,即瞬间高温(5 s)就能够杀死麦长管蚜若蚜(图 5)。

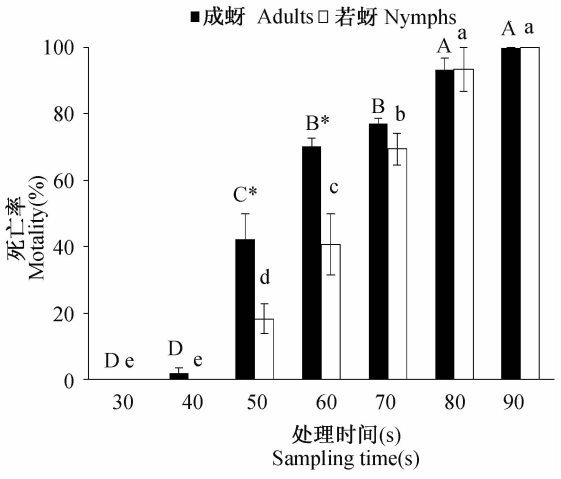

图 1 45℃下麦长管蚜在不同时间处理后的死亡率

Fig. 1 Mortality rate of *Sitobion avenae* under different treatment time at 45℃

注:标有不同的大写字母表示不同处理时间下成蚜死亡率的差异显著($P<0.05$),标有不同小写字母表示不同处理时间下若蚜差异显著($P<0.05$),标有 * 表示相同处理时间下成蚜与若蚜之间差异显著($P<0.05$)。下图同。

Histograms with different capital letters indicate significantly different of adults mortality at 0.05 level among the different treatment time, while with different low-case letters indicate significantly different of nymphs mortality at 0.05 level among the different treatment time. * indicates significantly different between the nymphs and adults at 0.05 level in the same different treatment. The same below.

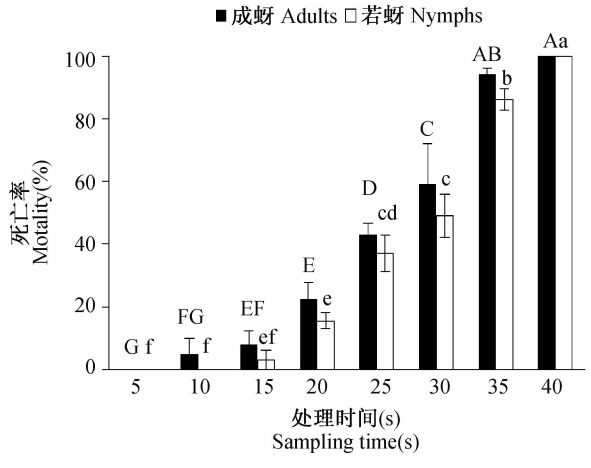

图 2 50℃下麦长管蚜在不同时间处理后的死亡率

Fig. 2 Mortality rate of *Sitobion avenae* under different treatment time at 50℃

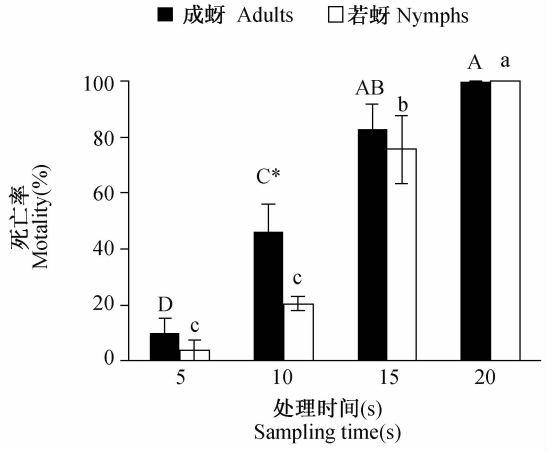

图 3 55℃下麦长管蚜在不同时间处理后的死亡率

Fig. 3 Mortality rate of *Sitobion avenae* under different treatment time at 55℃

2.2 短时间高温处理对成蚜存活的影响

观测发现,麦长管蚜成蚜的死亡率随着温度的升高和处理时间的延长也随之增加(图 1 ~ 图 5)。在 45℃条件下,处理时间超过 50 s,高温环境显著影响成蚜的存活,从处理 40 s 到 50 s 之间,试虫的死亡率从 1.8% 升高到 42.2%,即麦长管蚜成蚜的存活率从 98.2% 迅速下降到 57.8%;当处理时间达到 90 s 时,其死亡率为 100%(存活率下降到 0)。在 50℃条件下,处理 5 s 时对麦长管蚜存活没有影响(图 2),但处理时间达到 20 s 时,其死亡率为 22.6%,处理时间到 35 s 时蚜虫死亡率达到 94.2%,即存活率下降到 5.8%。60℃条件时,处理 5 s 其死亡率就达到了 35% 以上;处理 15 s 时试虫全部死亡(图 4)。而在 65℃和 70℃高温下,瞬间(10 s 或 5 s)可导致麦长管蚜成虫死亡。

从若蚜和成蚜对高温的反应来看,在 45℃ ~ 55℃高温处理条件下,其中 45℃处理 50 s 和 60 s 时(图 1)、55℃处理 10 s 时(图 3)若蚜的死亡率显著低于成蚜($P<0.05$),但其它处理时段无显著差异。

2.3 不同温度和不同处理时间条件下麦长管蚜死亡率的回归曲线

采用 Logistic 模型建立麦长管蚜死亡率与处理温度、处理时间的函数关系(表 1,表 2),然后计

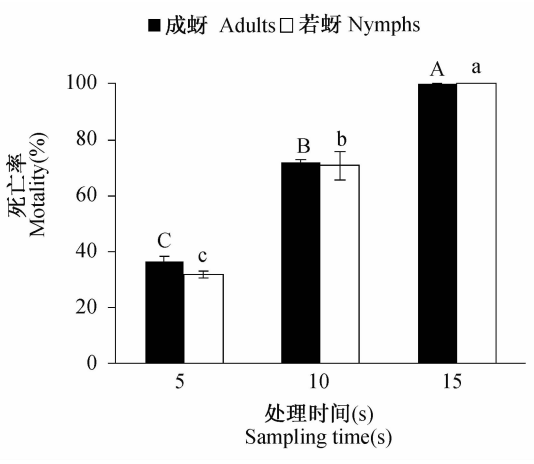

图 4　60℃下麦长管蚜在不同时间处理后的死亡率图

Fig. 4　Mortality rate of *Sitobion avenae* under different treatment time at 60℃

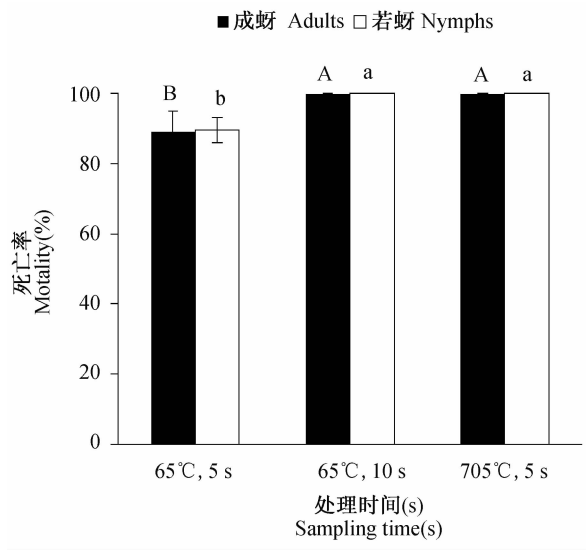

图 5　65℃、70℃麦长管蚜下不同处理时间后的死亡率

Fig. 5　Mortality rate of *Sitobion avenae* under different treatment time at 65℃ and 70℃

算出麦长管蚜的半致死温度和半致死时间。由表 1 可见,麦长管蚜的半致死时间(LTi_{50})随着处理温度的升高而缩短。相同处理温度条件下,成蚜的半致死时间短于若蚜。45℃下其半致死时间相差最大,成蚜半致死时间比若蚜半致死时间短 9.01 s。

麦长管蚜的半致死温度(LT_{50})随着处理时间的延长而降低(表 2)。相同处理时间条件下,成蚜的半致死温度低于若蚜的半致死温度,在处理时间为 5 s 时,成蚜的半致死温度为 60.36℃,比若蚜低 1.68℃。当处理时间为 10 s 时,成蚜的半致死温度比若蚜低 0.76℃。

3　讨论

麦长管蚜在 45℃处理时,其成蚜和若蚜的半致死时间分别为 53.95 s 和 62.96 s,全致死(100%死亡)时间均为 90 s;表明麦长管蚜在高温偏低的 45℃条件下,有一定的耐受性。在 50℃条件下,试虫的全致死时间为 40 s;55℃条件下,全

表 1　不同处理温度下的拟合方程及半致死时间(LTi_{50})

Table 1　Fitting formula and LTi_{50}(s) under different treatment temperature

处理温度 Treatment temperature	模型 Model	拟合方程 Fitting formula	决定系数 R^2	半致死时间 LTi_{50}(s)
		若蚜 Nymphs		
45℃	Logistics	$X2 = 132.5925/(1 + EXP(0.868599 - 0.015357X1))$	0.9781	62.96
50℃	Logistics	$X2 = 40.6466/(1 + EXP(0.772090 - 0.033809X1))$	0.9623	29.05
55℃	Logistics	$X2 = 20397.2254/(1 + EXP(8.1095 - 0.012190X1))$	0.9257	11.27
		成蚜 Adults		
45℃	Logistics	$X2 = 146844.3084/(1 + EXP(8.3793 - 0.009417X1))$	0.9716	53.95
50℃	Logistics	$X2 = 39.0402/(1 + EXP(1.1818 - 0.042955X1))$	0.9628	28.28
55℃	Logistics	$X2 = 42741.3314/(1 + EXP(9.1344 - 0.014962X1))$	0.9872	9.74

表 2 不同处理时间下模拟的方程及半致死温度(LT_{50})

Table 2 Fitting formula and LT_{50} (℃) under different treatment time

处理时间 Treatment time	模型 Model	拟合方程 Fitting formula	决定系数 R^2	半致死温度 LT_{50}(℃)
若蚜 Nymphs				
5 s	Logistics	$X2 = 69.3056/(1 + EXP(-1.1666 - 0.019560X1))$	0.7128	62.04
10 s	Logistics	$X2 = 22432.1937/(1 + EXP(6.1046 - 0.002697X1))$	0.9941	57.17
成蚜 Adults				
5 s	Logistics	$X2 = 77.3175/(1 + EXP(-0.528589 - 0.014821X1))$	0.9166	60.36
10 s	Logistics	$X2 = 28475.2945/(1 + EXP(6.3708 - 0.002974X1))$	0.9868	56.41

致死时间为 20 s;60℃条件下,全致死时间为 15 s;65℃条件下,全致死时间为 10 s;70℃条件下,全致死时间为 5 s。有研究显示,棉蚜在 42℃下高温处理 1 h 其存活率能够达到 57.50%,在 46℃下处理 1 h 后存活率依然能达到 11.67%,表明其耐受高温的能力较强(吕智召等,2010)。由此可见,麦长管蚜对 45℃左右高温的耐受能力远低于棉蚜;即短时间高温处理对麦长管蚜具有很强的致死效应。为此,作者基于本项研究的结果,在田间探索了利用短时间高温防治麦长管蚜的可行性。试验结果表明,通过人为创造高温的方法可以实现瞬间(5 s)杀死目标麦蚜又不伤害寄主小麦的目标(有关数据正在整理中,将另文发表)。虽然其实用技术尚待开展更深入的研究,但其应用价值已初步显现。在目前基础上,如果开展进一步系统研究使这一物理防治措施能在田间大面积成功应用,不仅创新一种防控麦蚜优势种(麦长管蚜)的绿色技术,更重要地是在一定程度上改善我国长期以来防治麦蚜主要依赖化学农药的局面,可减少对环境污染和避免麦长管蚜的抗药性。另外,对其它蚜虫等分布(发生)易见的害虫开展利用高温防控技术的研究也具有借鉴意义。

通过比对两种虫态耐受高温的能力发现,麦长管蚜的若蚜较成蚜耐高温。这一结果与吕智召等(2010)对棉蚜及 Ma 等(2004)对麦无网长管蚜的研究结果相一致。无论是比较两者半致死温度,还是半致死时间,都能发现麦长管蚜的若虫比成虫较耐高温环境条件。特别是在高温区中较低温区的 45℃条件下,在处理 50 s 和 60 s(图 1)的若虫死亡率显著低于成虫的死亡率;而且两者在 45℃条件下的半致死时间相差最大,其若虫半致死时间比成虫半致死时间长 9 s。另外,在最短处理时间(5 s)情况下,若虫的半致死温度也比成虫高 1.68℃。从而表明麦长管蚜若蚜的耐高温能力要强于成蚜。

利用高温来防治检疫、仓储、卫生等害虫已经较为成熟。在检疫害虫防治方面,如通过高温处理进口的木材,来防止外来有害生物的侵入(Tang *et al.*,2000)。在仓库,利用微波、无线射频或其他加热的方法,使其空气短时间升温,来杀死储藏害虫(沈兆鹏,1996;王立新和周强,2008)。在卫生害虫等方面,也可以通过在密闭的环境内,升高温度来达到防治害虫的目的(曲平生,2003)。但是高温防治技术受很多因素的影响和制约。例如:温度的高低、时间的长短、高温处理的模式、湿度的影响、二氧化碳等浓度的影响以及害虫有没有受到高温或者低温的诱导等(马春森等,2008)。另外,非靶标受高温破坏的程度也常常制约着高温防治技术的发展。因此,要想有效的利用高温技术防治害虫尚需开展很多方面细致的研究,特别是在防治敏感的非靶标环境中害虫时,尤其要注意高温的破坏作用。Fields(1992)年在总结高温防治害虫时,提出了研究高温防治时应遵循的 6 个原则,其中有一条就是做一组高温梯度试验,建立相关预测模型,并且统计了近百种害虫在不同温度下的死亡率,推动了高温防治害虫的发展。

在田间防治害虫方面,利用高温防治害虫有着广泛的应用前景。如在 20 世纪 90 年代北美地区通过明火防治马铃薯甲虫,研究发现短暂的 70℃高温接触对马铃薯幼苗安全,却能够有效的

杀死马铃薯甲虫(Duchesne *et al.*, 2001)。在国内,高温闷棚防治害虫技术有着较为成熟的应用。如焦国信(2007)研究发现闷棚温度在 46.0 ~ 48.5℃下,持续 1.5 ~ 2.0 h,效果较好;闷棚 3 次对蚜虫的防治能达到 76.8%。周永丰和唐峻岭(2003)发现高温闷棚(40 ~ 48℃)2 h 对南美斑潜蝇的幼虫、蛹、成虫的防治效果能分别达到 86.4%,88.2% 和 92.1%。但是,目前有关在田间开展利用高温防治害虫的研究尚少。主要是困难较大,因为在田间开展相应研究或实施高温措施防治目标害虫时直接受到环境条件、害虫在寄主作物上的发生(分布)部位、寄主作物耐高温能力等诸多影响。为此,在开展利用短时间高温防控害虫研究的过程中,应首先选择发生(分布)部位明显易见的害虫对象,开展短时间高温处理试验以测定对该害虫的致死效应和寄主植物对短时高温的耐受能力。这些前期的基础研究工作是非常重要的环节,不仅能够明确防治目标害虫的有效致死温度和时间,做到有的放矢;而且还可以避免过高温度对寄主作物造成较大的伤害,以提高短时高温防控害虫的实用性。

参考文献(References)

Duchesne RM, Lague C, Khelifi M, Gill J, 2001. Thermal control of Colorado potato beetle//Vincent C, Panneton F, Francie FL (eds.). Physical Control Methods in Plant Protection. Berlin Herdelberg, New York: Spring-Verlag. 61 – 73.

Fields PG, 1992. The control of stored-product insects and mites with extreme temperature. *J. Stored Prod. Res.*, 28: 89 – 118.

Francis FL, Jean-Marc LT, 2001. Control of insects in post-harvest: High temperature and inert atmospheres//Vincent C, Panneton F, Francie FL (eds.). Physical Control Methods in Plant Protection, Berlin Herdelberg, New York: Spring-Verlag. 5 – 93.

Hansen JD, Johnson JA, Winter DA, 2011. History and use of heat in pest control: a review. *Int. J. Pest Manag.*, 57 (4): 267 – 289.

Hansen JD, Wang S, Tang J, 2004. A cumulated lethal time model to evaluate efficacy of heat treatments for codling moth *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) in cherries. *Posth. Biol. Technol.*, 33: 309 – 317.

Ma CS, Bernhard H, Hans MP, 2004. The effect of heat stress on the survival of the rose grain aphid, *Metopolophium dirhodum* (Hemiptera: Aphididae). *Eur. J. Entomol.*, 101: 327 – 331.

Massa R, Capro E, Santis MD, 2011. Microwave treatment for pest control: the case of *Rhynchophorus ferrugineus* in *Phoenix canariensis*. *EPPO Bull.*, 41(2): 128 – 135.

Mourier H, Poulsen KP, 2000. Control of insects and mites in grain using a high temperature/short time (HTST) technique. *J. Stored Prod. Res.*, 36: 309 – 318.

Ratte HT, 1984. Temperature and insect development// Hoffmann KH (ed.). Environmental Physiology and Biochemistry of Insects . Berlin Heideberg, New York: Springer-Verlag. 33 – 65.

Tang J, Ikediala JN, Wang S, Hansen JD, Cavalieri RP, 2000. High-temperature-short-time thermal quarantine methods. *Posth. Biol. Technol.*, 21: 129 – 145.

曹雅忠, 李克斌, 尹姣, 2006. 小麦蚜虫不断猖獗原因及控制对策的探讨. 植物保护, 32(5): 72 – 75.

韩瑞东, 徐延熙, 王勇, 戈峰,2005. 高温对油松毛虫卵发育的影响. 昆虫知识, 42(3): 294 – 297.

焦国信, 2007. 高温闷棚对黄瓜病虫害的防治效果. 甘肃农业科技, 10: 19.

刘向东, 翟保平, 胡自强, 2007. 高温及水稻类型对灰飞虱种群的影响. 昆虫知识, 44(3): 348 – 352.

吕智召, 张江国, 罗亮, 高桂珍, 陆国良, 2010. 短时间高温处理对棉蚜存活的影响. 昆虫知识, 47(4): 685 – 689.

马春森, 马罡, 常向前, 2008. 农业害虫高温调控的研究进展. 环境昆虫学报, 30(3): 257 – 264.

曲平生, 2003. 关于档案害虫的物理防治. 机电兵船档案, 1: 1.

沈兆鹏, 1996. 仓储害虫综合治理(六)气调、密闭、高温和低温仓储管理与技术. 仓储管理与技术, 5: 20 – 22.

王立新, 周强, 2008. 农业虫害电磁波谱防治研究进展. 安徽农业科学, 36(20): 8692 – 8694.

王亚维, 张国洲, 2003. 农业害虫农业防治和物理防治方法的研究. 安徽农业科学, 31(1): 120 – 122.

王永宏, 苏丽, 忻均祥, 2002. 温度对玉米蚜种群增长的影响. 昆虫知识, 39(4): 277 – 280.

周永丰, 唐峻岭, 2003. 高温对南美斑潜蝇的致死作用. 昆虫知识, 40(4): 372 – 373.