研究论文

高温及水稻类型对灰飞虱种群的影响*

刘向东** 翟保平 胡自强

(南京农业大学植物保护学院昆虫学系 南京 210095)

Effects of rice type and temperature on the population of the rice small brown planthopper: *Laodelphax striatellus*. LIU Xiang-Dong**, ZHAI Bao-Ping, HU Zi-Qiang (*Department of Entomology, Nanjing Agricultural University*, Nanjing 210095, China)

Abstract The occurrence trend of the small brown planthopper *Laodelphax striatellus* (Fall n) (SBPH) in Jiangsu and Zhejiang Province was ascending in recent years. The effects of temperature and rice type on survival, fitness and cold tolerance of SBPH were studied in the present study. The results showed that the development of SBPH was retarded significantly under the 35℃ high temperature, and compared with 25~30℃ conditions, the developmental duration at the 35℃ delayed two to seven days. The mortality of nymph increased significantly at the 35℃ higher temperature, and the emerged adults were not found. The survival of the nymph reared on the japonica rice was significantly higher than that of the nymph on the indica hybrid rice. But there was no interactive effect between the temperature and rice type to survival of SBPH. The super-cooling point (SCP) and ice point (IP) of the 4~5th instar nymphae reared under the suitable conditions were significantly lower than that of the nymphae under the higher or lower temperature conditions. The SCP and IP of 4~5th instars nymphae reared on the indica hybrid rice were significantly lower than that on the japonica rice at the varied temperature (26~30.5℃). Moreover, all the SCPs of the 4~5th star nymphae reared on the indica hybrid rice and japonica rice were below −10℃, and the SBPH population would not be influenced by the low temperatures of winter in Jiangsu and Zhejiang. Therefore, it inferred that the variation of the air temperature and rice type would play key role in the outbreak of the SBPH population in recent years.

Key words *Laodelphax striatellus*, temperature, rice type, mortality, development, super-cooling point

摘 要 近年来,灰飞虱 *Laodelphax striatellus*(Fall n)在江浙等地呈明显上升态势。采用不同温度及水稻类型处理灰飞虱若虫,获得灰飞虱种群在不同处理组合下的存活率、发育进度及抗寒力。结果表明,35℃的高温下,灰飞虱各龄若虫无论在杂交籼稻还是粳稻上,其发育进度均比25~30℃推迟2~7 d。35℃高温下若虫死亡率较高,并且不能正常羽化。粳稻上饲养的灰飞虱若虫的存活率明显高于杂交籼稻,但水稻类型和温度对灰飞虱存活率的影响不存在明显的互作作用。在适宜温度下(27~30℃)用杂交籼稻饲养的灰飞虱,其过冷却点及结冰点均要比在高温(35℃)或低温(25℃)下饲养的低。在26~30.5℃变温条件下,杂交籼稻上饲养的灰飞虱的过冷却点和结冰点显著低于粳稻上饲养的,而且不同温度和水稻类型上的灰飞虱的过冷却点均低于零下10℃。可见江浙稻区冬季低温对灰飞虱的越冬已不存在制约作用。温度和水稻类型的变化是近年灰飞虱暴发成灾的重要原因。

关键词 灰飞虱,温度,水稻类型,死亡率,发育进度,过冷却点

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fall n)在我国以长江中下游和华北稻区发生较多,它能危害水稻、小麦、大麦、玉米、高粱和甘蔗等多种禾本科植物,并且能传播多种病毒病,造成病害的扩散和流行。近年来,由灰飞虱传播的水稻条纹叶枯病在许多稻区发生严重,2004年出现了因条纹叶枯病而绝收的田块,以及5、6代灰飞虱发生量特高并聚集到水稻穗部取食,造成稻穗发黑发霉,严重影响水稻灌浆结实的现象[1]。

* 国家"十五"攻关项目(2001BA50PB0123)。

** Email: liuxd@njau.edu.cn

收稿日期:2006-05-19,修回日期:2006-10-24

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

同时，目前针对灰飞虱高龄若虫及其传播的病毒病还没有很好的药剂，并且灰飞虱对一些药剂的抗性也在不断上升[2]。因此，进行灰飞虱种群发生期与发生量的准确预测，指导适时用药显得尤为重要。

灰飞虱能抵抗一定的低温并忍受一定的高温，能以休眠或滞育状态进行越冬，但也能以生长发育状态越冬。在江苏南部灰飞虱越冬期并不休眠，仅在－3 ℃且持续时间较长时才发生麻痹冻倒现象，但冻倒若虫大部分能复苏[3~6]。另外，夏季高温对灰飞虱种群的发展有一定的抑制作用[6]。不过，随着水稻品种结构的改变及全球气候的变化，灰飞虱种群对温度条件及水稻品种的适应能力也很可能发生了改变。因此，在新的稻作布局与气候形势下，重新剖析灰飞虱种群对温度及水稻品种的适应力、筛选种群暴发预警指标显得尤为必要。本研究结合目前灰飞虱呈不断上升趋势的实际情况，从灰飞虱越夏存活入手，研究温度和水稻类型对灰飞虱死亡、发育及抗寒力的影响，以探讨灰飞虱种群暴发成灾的原因。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

试验虫源由江苏省农业科学院植保所提供，该种群采自江苏北部，并在室内用稻苗进行饲养保持。虫源获得后，在光照培养箱内(光期 14 h：暗期 10 h，温度 26 ℃)下用稻苗饲养，作为供试虫源。

1.2　水稻类型

采用杂交籼稻(汕优 63)和常规粳稻(武育粳)2 种水稻品种，在室内用塑料框催芽秧苗。苗龄达 20 d 左右的稻苗用于饲养灰飞虱。

1.3　灰飞虱的温度处理

在一次性杯中移栽 20 株左右无虫秧苗，用培养液进行培养，待稻苗返青后将大小整齐的灰飞虱若虫(孵化后 2 d)接于稻苗上，用保鲜膜将杯口封好，并在保鲜膜上扎若干透气孔，然后分别置于室温(每天分别在 8、14 及 20 点记录温度，日平均为 27.8 ℃)及 25、30、35 ℃恒温光照培养箱中，光照每天 14 h。每类水稻品种在各温度下分别接 10 头若虫，每温度处理重复 3~4 次。

1.4　灰飞虱发育进度及羽化数调查

稻苗接虫后，每天上午调查 1 次死亡的虫量、脱下的虫蜕，并用镊子小心地将死亡若虫及脱下的虫蜕挑除杯外并记数。当有成虫羽化时，将成虫吸出并计数。调查直到没有成虫羽化时止。根据起始接虫量及羽化出的成虫数，估计灰飞虱在不同水稻及温度下整个若虫期的存活率，即羽化率。若虫羽化率＝(羽化成虫数/起始虫数)×100。而以不同时间调查得到的累积死亡若虫量与起始接虫量的比值，得到各时间若虫的累计死亡率，并做出相应的生存曲线。根据不同时间蜕皮的数量，近似估计灰飞虱若虫的发育进步，蜕皮高峰出现的次数对应灰飞虱的龄期数，而相邻 2 个蜕皮高峰间的历时则为若虫某龄的龄期。

1.5　过冷却点与结冰点的测定方法

在不同温度及不同水稻品种上，将初孵若虫饲养至 4~5 龄后，用过冷却点测定系统(半导体感温探头＋温度采集系统＋低温环境－30 ℃)测定其过冷却点和结冰点。各处理测定的个体数分别为 14~26 头。

1.6　数据处理方法

分别采用单因素和两因素方差分析方法进行差异显著性分析。温度处理间的比较在 4 种温度(25、30、35 ℃恒温和 26~30.5 ℃变温)间进行。各比率值经反正弦转换后，采用 Duncan 新复极差法进行多重比较分析，非比率数值则直接进行 Duncan 检验。两处理间的比较采用学生氏 t 测验方法。所有差异显著性分析均在 SAS 统计软件中进行。

2　结果与分析

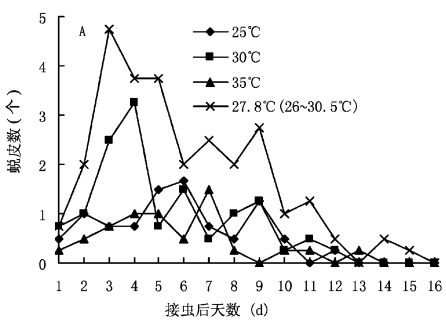
2.1　温度及水稻类型对灰飞虱种群生长发育的影响

采用群体饲养方法观察了灰飞虱种群各时间的蜕皮数，由蜕皮数的变化动态可知，杂交籼稻上灰飞虱在 25 ℃、30 ℃恒温及 27.8 ℃变温条件下生长发育较好，在温度处理的 16 d 内分别

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

完成了 3、3 和 4 个龄期，同时还表现出蜕皮数多，蜕高峰明显等特征；而在 35 ℃恒温下，16 d 内平均仅完成 2.5 个龄期，完成龄期数与 27.8 ℃变温条件下存在显著差异（$F_{3,12}=3.8$，$P=0.038$），并且蜕皮数较少，蜕皮高峰不太明显。从平均蜕皮高峰还可看出，35 ℃下各龄若虫高峰出现的时间要比 27.8 ℃及 30 ℃推迟 2～3 d（图 1A），且在 35 ℃下没有羽化个体出现。

粳稻品种上灰飞虱的发育受温度的影响与杂交籼稻上相比存在一定差异（图 1B），表现为粳稻上 25 ℃下若虫发育最快，蜕皮数多，且在温度处理的 13 d 内平均完成了 5 个龄期。而 35 ℃高温下灰飞虱在 13 d 处理时间内平均仅完成了 3 个龄期，并且各龄期与 25 ℃相比推迟 2～7 d，与 27.8 ℃变温及 30 ℃恒温相比推迟 2～6 d。在 25 ℃和 27.8 ℃条件下灰飞虱平均发育进步极显著地快于 30 ℃和 35 ℃条件下（$F_{3,8}=41$，$P<0.00001$）。35 ℃下也没有成虫羽化。



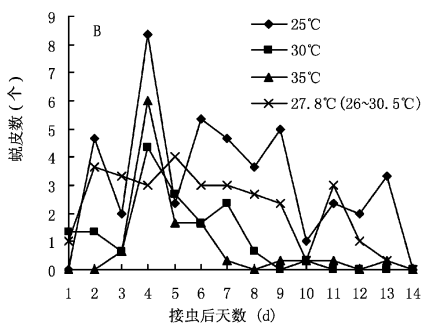


图 1 不同温度处理下灰飞虱种群在不同时间出现的平均蜕皮数

A. 杂交籼稻 B. 粳稻

2.2 温度及水稻类型对灰飞虱种群存活率的影响

由表 1，2 可知，温度对灰飞虱若虫期的存活率存在极显著影响（$F=28.623$，$P<0.00001$），表现为 35 ℃恒温下死亡率最高，没有个体能正常羽化，而在 26～30.5 ℃变温（日均温为 27.8 ℃）下存活率最高。水稻类型对灰飞虱若虫期的存活率也存在显著影响（$F=8.410$，$P=0.0089$），表现为粳稻上的存活率高于杂交籼稻。不过，温度和水稻类型间没有表现出对灰飞虱若虫期存活率的互作影响（$F=1.686$，$P=0.2020$）。

表 1 不同温度下灰飞虱若虫的羽化率（平均数±标准差，%）

温度 ℃	水稻类型	
	杂交籼稻	常规粳稻
25	49.58±20.65[a]	64.92±22.39[a]
30	46.59±21.40[a]	87.96±12.53[a]
35	0±0b	0±0[b]
27.8(26～30.5)	71.53±22.27[a]	91.11±15.4[a]

数字后不同小写字母表示温度处理间差异显著（$P<0.05$）。下表同。

表 2 温度（A）和水稻类型（B）对灰飞虱若虫羽化率影响的方差分析表

变异来源	平方和 (SS)	自由度 (*df*)	均方 (MS)	*F* 值 *F* value	显著水平 (*P*)
温度	2.5468	3	0.8489	28.623	0.0000
水稻类型	0.2494	1	0.2494	8.410	0.0089
A×B	0.1500	3	0.0500	1.686	0.2020
误差	0.5932	20	0.0297		
总变异	3.5394	27			

2.3 不同温度和水稻类型上灰飞虱若虫的生存曲线

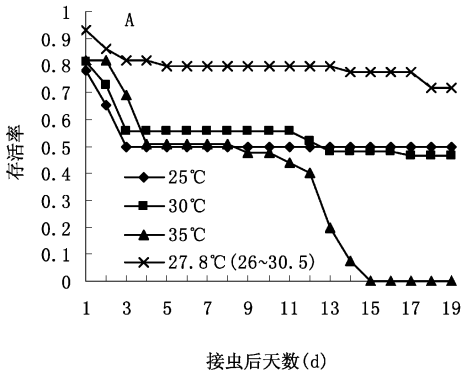
灰飞虱在杂交籼稻和粳稻上若虫期处理 16～19 d 内的生存曲线如图 2 所示。由图 2 可知，杂交籼稻上生活的灰飞虱在日均温为 27.8 ℃的变温条件下死亡率最低，25、30 和 35 ℃恒温下在前 11 d 处理中死亡率差异不显著，但 11 d 后，35 ℃高温下的死亡率显著或极显著地高于其它 3 种温度，并在第 15 d 时达 100%。粳稻上灰飞虱在 27.8 ℃变温及 30 ℃恒温下的死亡率极低；25 ℃下死亡率在 10%～30%之间；但在 35 ℃高温下，死亡率上升很快，

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

在处理 3 d 后的死亡率显著或极显著地高于其它 3 种温度，并且在 5 d 内死亡率达到 50%，13 d 时达 100%。表现出灰飞虱若虫死亡率受温度及水稻类型的影响，在较适宜的温度下，灰飞虱在粳稻上的死亡率明显低于杂交籼稻。

2.4　不同温度及水稻类型对灰飞虱抗寒力的影响

由表 3 可知，25 ℃恒温下饲养，杂交籼稻和粳稻上灰飞虱 4 ~5 龄若虫的过冷却点和结冰点均没有显著差异（过冷却点 $t=1.2464$，$P=0.2202$；结冰点 $t=0.6780$，$P=0.5019$）。但在 27.8 ℃的变温条件下，2 种水稻类型上饲养的灰飞虱，其过冷却点和结冰点存在极显著或显著差异，表现为杂交籼稻上饲养的灰飞虱过冷却点和结冰点要明显低于粳稻上饲养的（过冷却点 $t=3.407$，$P=0.0016$；结冰点 $t=2.4824$，$P=0.0177$）。不过，2 种温度和两种类型水稻上饲养的灰飞虱，其过冷却点均较低，均在 −10 ℃以下，表现出了较强的抗寒能力。



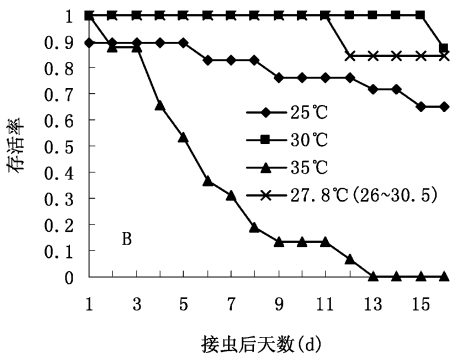


图 2　杂交籼稻(A)和常规粳稻(B)上灰飞虱若虫在不同温度下的生存曲线

表 3　杂交籼稻和常规粳稻上饲养灰飞虱的过冷却点与结冰点

温度(℃)	水稻类型	测试虫数(头)	过冷却点(℃)	结冰点(℃)
25	杂交籼稻	14	−12.11±2.40ns	−7.81±1.70ns
	常规粳稻	26	−10.94±3.01ns	−7.28±2.66ns
27.8	杂交籼稻	18	−16.50±3.28**	−11.92±4.09*
(26~30.5)	常规粳稻	21	−12.36±4.16	−8.91±3.48

注：ns 同一温度下不同水稻类型间无显著差异，*差异显著，**差异极显著。

不同温度下杂交籼稻上饲养的灰飞虱，其过冷却点及结冰点也存在差异（表 4），表现为过冷却点在 27 ℃恒温及 26 ~30.5 ℃变温下的最低，并且显著低于 25 ℃及 35 ℃恒温。由此表明，在适宜若虫生长发育和存活的气温条件下，其高龄若虫的过冷却点和结冰点明显较低于在过高或过低温度条件下饲养的个体。

表 4　不同温度下杂交籼稻上饲养出的灰飞虱 4~5 龄若虫的过冷却点和结冰点

温度(℃)	测试虫数(头)	过冷却点(℃)	结冰点(℃)
25	14	−12.11±2.41a	−7.81±1.70a
27	17	−17.81±2.61b	−13.78±3.28c
27.8(26~30.5)	18	−16.5±3.28b	−11.92±4.09bc
35	15	−12.88±3.94a	−8.853±5.88ab

3　讨论

近年来，灰飞虱种群数量呈明显上升态势，分析其暴发成灾原因，气候因子和水稻品种的变化起到了一定的作用[4~10]。本研究表明，35 ℃的恒温处理，无论在杂交籼稻还是在粳稻上饲养的灰飞虱若虫，均不能正常羽化。Hachiya 研究发现，灰飞虱的最适生长、繁殖温度为 25 ~28 ℃，卵和若虫在 15 ~25 ℃下发育速率直线加快，但在 30 ℃或 32.5 ℃时直线关系不复存在[8]。高东明等研究表明，灰飞虱在 10 ℃

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

以下开始越冬，31～35℃时停止取食进入滞育越夏[11]。本研究结果与前人的研究基本一致。35℃的恒定高温对灰飞虱若虫的存活存在显著的抑制作用。因此，夏季田间灰飞虱种群数量的回落，很可能与高温致死和滞育有关。不过，本研究仅设定了一个最高温为30.5℃、均温为27.8℃的变温处理，而没有35℃变温条件下灰飞虱种群的存活与生长情况，因此，在实际变温条件下，35℃高温是否会产生同样的影响，还值得探讨。

水稻类型由杂交稻改为粳稻，也能促进灰飞虱种群的发生[7]。研究表明，灰飞虱若虫在粳稻上的存活率明显高于杂交籼稻上的存活率，并且在粳稻上，高温处理后，灰飞虱种群致死50%个体所需的时间比在杂交籼稻上长3 d左右。另外，粳稻上生长的灰飞虱，其在高温条件下的发育速度要慢于在杂交籼稻上的发育速度，从而加长了对水稻的为害时间，造成危害加重。马巨法等研究表明，在恒温38℃处理下灰飞虱4～5龄若虫死亡50%个体的处理时间为25.90 h；而在27℃～38℃变温下，24 h内孵化的若虫处理5 d后，其生存率降为55%[9,10]。本研究中粳稻上饲养的灰飞虱在35℃高温下，其50%个体致死的时间也在5～6 d之间，但杂交籼稻上出现死亡高峰要稍早些。这可能与不同类型水稻内的营养物质有关，粳稻内的营养物质很可能更利于灰飞虱的生长发育，从而提高其对高温的忍受力。丁新天等分析，20世纪90年代以来，冬季气温偏高、而夏季高温天气减少的冬暖夏凉气候特征，更有利于灰飞虱的越冬与越夏，是灰飞虱暴发成灾的原因之一[12]。结合本研究可知，温度条件的适宜，加上大量推广粳稻品种，致使灰飞虱种群受高温及品种抗性的抑制作用降低，从而可引起灰飞虱种群的暴发。

灰飞虱以2～5龄若虫在杂草丛中越冬[13,14]，在日本的大部分地区，灰飞虱主要以4龄若虫及少量3龄若虫滞育越冬；韩国以2～5龄若虫越冬，且越冬若虫在12～4月份间体重不断增加[14,15]。孙兴全等对灰飞虱越冬若虫（3龄和4龄）的过冷却点测定发现，灰飞虱有较强的抗寒能力，其过冷却点在－7℃左右[16]。本研究测定粳稻和杂交籼稻上饲养的灰飞虱的过冷却点也发现，在25～30℃不同温度下饲养的灰飞虱4～5龄若虫，其过冷却点都相当低，均在－10～－16℃之间，并且该结果要比孙兴全等测定的低3～10℃[16]，这一差异可能与测定的灰飞虱种群来源不同有关，同时也有可能是灰飞虱种群抗寒性在近年发生了变化。另外，灰飞虱若虫在适宜生长发育的气温条件下饲养时，饲养出的高龄若虫的过冷却点要显著低于在不适宜温度条件下饲养的个体。适宜的夏季气温不仅仅能提高夏季灰飞虱种群的存活率，而且还能提高种群越冬期的抗寒力，从而触发种群的暴发成灾。

参 考 文 献

1 张景飞，龚林根，瞿燕，屈惠良. 中国植保导刊，2005，**4**：39.
2 林友伟，张晓梅，沈晋良. 昆虫知识，2005，**42**(1)：28～30.
3 夏温树. 昆虫学报，1962，**11**(2)：105～117.
4 浦茂华. 昆虫学报，1963，**12**(2)：117～136.
5 蔡邦华，黄复生，冯维熊，傅亿荣，董其芬. 昆虫学报，1964，**13**(4)：552～571.
6 阮义理，蒋文烈，林瑞芬. 昆虫学报，1981，**24**(3)：283～290.
7 刘向东，翟保平，刘慈明. 昆虫知识，2006，**43**(2)：141～146.
8 Hachiya K. *Annu. Rep. Soc. Plant Protec. North J.*，1990，**41**：112～113.
9 马巨法，胡国文，程家安. 华东昆虫学报，1998，**7**(2)：85～90.
10 马巨法，胡国文，程家安. 华东昆虫学报，1998，**7**(2)：80～84.
11 高东明，秦文胜，龚林根，秦维勤. 植物保护，1994，**20**(3)：21.
12 丁新天，徐加湖，黎东兴，丁丽玲，陈宇腾，等. 中国农学通报，2003，**19**(4)：113～116.
13 林志伟，刘洋，辛惠普. 黑龙江八一农垦大学学报，2004，**16**(2)：15～18.
14 Bae S. D.，Song Y. H.，Park K. B. *Korean J. Appl. Entomol.*，1995，**34**(4)：321～327.
15 Mishiro K.，Fujisaki K.，Nakasuji F. *Appl. Entomol. Zool.*，1994，**29**(2)：211～217.
16 孙兴全，吴静菊，吴爱忠，支月娥. 上海农学院学报，2000，**18**(2)：150～154.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n