

风雨对麦长管蚜自然种群发展的干扰作用

王 冰¹, 李克斌¹, 尹 姣¹, 杜桂林^{1,2}, 郭 箫¹, 王玉卿¹, 曹雅忠^{1,*}

(1. 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; 2. 全国畜牧总站 北京 100026)

摘要:麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* (Fabricius) 是我国重要的农业害虫, 给我国的小麦生产造成严重的威胁。经过 2006 ~ 2008 年的系统观测结果表明, 风雨气象因素对麦长管蚜种群发展具有显著的影响作用, 是突出的关键制约因子。一次 6 ~ 7 级大风 (平均风速 10 m/s 左右) 可以显著压制麦长管蚜种群增长的趋势, 其种群数量下降 65%; 在小麦灌浆期的一次强风天气 (极大风速达到 18.8 m/s), 使种群数量迅速下降, 直至小麦成熟期未能恢复其种群密度。一次持续 10 h 的降雨 (日降雨量 32.2 mm) 导致麦长管蚜种群数量骤降 80%, 并需要 7 d 才恢复到雨前的种群密度。

关键词:麦长管蚜; 种群发展; 风; 雨; 干扰作用

文章编号: 1000-0933 (2009) 08-4317-08 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Rain and wind interfere with natural population development of *Macrosiphum avenae* (Fabricius)

WANG Bing¹, LI Ke-Bin¹, YIN Jiao¹, DU Gui-Lin^{1,2}, GUO Xiao¹, WANG Yu-Qing¹, CAO Ya-Zhong^{1,*}

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

2 National Animal Husbandry Service, Beijing 100026, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4317 ~ 4324.

Abstract: The english grain aphid *Macrosiphum aven* is one of the most important agricultural pests, which results in serious wheat lost in China. The results from systematic observation from 2006 through 2008, demonstrated that meteorological factors such as wind and rain were essential for population development of english grain aphid. The gale during 6 — 7 grades (average wind speed was above 10m/s) significantly suppressed 65 percent of the population growth; A gust of wind (maximum wind speed was 18.8m/s) during filling stage blew the population number rapidly decreased and never recovered. The rainfall lasting 10 hours (daily rainfall was 32.2mm) led to 80 percent of decrease of aphid population, and population density did not recovery till 7 days late.

Key Words: *Macrosiphum avenae* (Fabricius); population development; wind; rain; interference effect

在生态系统中, 昆虫种群的发展动态与周围环境有着密切的联系。昆虫所处的非生物环境主要是气候因素。气候因素主要包括温度、光照、湿度、降雨和气流等理化因子。气候因素不仅可以直接影响昆虫的生长发育、生存和繁殖, 从而造成种群的发生期、发生量和危害程度的差异, 而且还可以通过对寄主植物或害虫天敌等生物因子的作用, 间接的影响害虫的发生程度^[1]。从以往有关昆虫与环境关系的研究来看, 研究的生态因子主要涉及温度、光照和湿度^[2~7], 在麦蚜研究方面也是如此^[8~13], 但对降雨和大风等生态因子的影响效应研究的却较少。梁宏斌等^[14]通过研究降水和灌溉对麦双尾蚜种群数量的影响, 表明了田间和室内模拟降水可以明显降低麦双尾蚜种群数量。金瑞华等^[15]对苹果蠹蛾分布与降雨关系研究显示, 降雨量愈大、降雨强度

基金项目: 国家农业公益性行业科研专项资助项目 (200803002); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD08A01; 2006BAD08A05)

收稿日期: 2009-03-24; 修订日期: 2009-06-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yzcao@ippcaas.cn; yazhongcao@sina.com.cn

愈高及降雨次数愈多,幼虫和蛹的死亡率愈高,而化蛹率和羽化率则愈低。张润志等^[16]认为气象因素,尤其是相对湿度和降水直接影响到麦双尾蚜的基数、发育速率和种群大小,对其种群的增长有明显的抑制作用。Mann 等^[17]模拟风雨的实验表明:随着风持续时间的增加,蚜虫平均移动的距离在增加;随着降雨持续时间的增加,蚜虫从植物上逃离的比率也在增加;由强风或大雨导致的叶片晃动对蚜虫初始驱散起着相当大的作用。曹雅忠等^[18]对麦长管蚜自然种群生命表的初步研究结果表明,风雨是影响其种群消减的关键因子之一,5 级以上的风或风雨交加可使麦长管蚜的种群密度下降 30%~80%。上述研究虽然显现出一定强度的风雨对蚜虫种群有明显的抑制作用,但其研究工作仍然薄弱。例如:风雨抑制蚜虫种群增长的关键时期(对其种群增长过程中的不同发展阶段的干扰作用如何);不同强度、不同干扰时期的风雨与有效控制麦蚜(对寄主小麦)危害的作用;风雨对蚜虫个体或种群的干扰作用机理等科学与实际应用问题尚待研究解决。为此,我们拟通过对自然风雨与麦蚜动态的系统调查和观测,并结合室内外模拟试验,阐释风雨对麦蚜种群消长的自然抑制作用,以期对麦蚜的预测预报和生态调控提供新的思路和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与地点

观测试验在中国农业科学院植物保护研究所的北京试验地(40°01'N,116°17'E)进行。以田间自然发生的麦长管蚜为风雨干扰试验观测的对象;在田间常规种植与管理的小麦品种为“中旱 101”(感蚜品种),作为观测麦长管蚜种群动态的寄主植物。

1.2 试验方法

1.2.1 麦长管蚜种群动态的系统调查

2006 年至 2008 年,从小麦返青拔节期开始,每隔 2d 对麦长管蚜种群数量进行一次系统调查。调查采用 5 点取样法,每点随机抽取 50 株小麦植株,分别调查记录单茎上麦蚜的数量,直到小麦成熟期止。

1.2.2 风雨对麦长管蚜种群干扰效应的调查

以系统调查方法为主。为了掌握风雨对麦蚜种群的即时干扰效果,关注并根据气象预报,在大风或降雨天气前一天调查麦长管蚜种群发生基数,调查记录方法同麦长管蚜种群动态系统调查,并对所调查的麦株进行标记(将记录蚜量的标签系于小麦茎秆上);待风雨天气过后分别对所标记的小麦植株上的麦长管蚜种群数量进行详细的调查记录,直到麦蚜种群恢复到原密度时停止;此后,采用系统调查方法继续调查记录。另外,特别关注了在麦长管蚜种群发展过程的 3 个主要阶段(种群缓慢发展期,种群上升期和种群盛发期)风雨影响的调查分析。

1.2.3 风雨对麦长管蚜种群干扰的初步模拟试验

采用背负式手动喷雾器(工农 16 型)喷水,利用背负式机动喷粉机(东方红 WFB-18G)吹风。喷雾机的“降水量”采用常规雨量计(SM1,上海气象仪器厂)测量;喷粉机的风速采用风速计(PROVA AVM-07,泰仪电子公司)测量。在 2008 年仅进行了两组田间模拟试验,即喷水设(15±1)mm 和(30±1)mm(相当于中雨和大雨)两个“降水量”处理;吹风设(11±1)m/s 和(18±1)m/s(相当于强风和大风)两个风力处理。小麦品种与风雨干扰试验一致(中旱 101)。模拟试验在小麦孕穗期进行,每一处理小区面积 4m²小麦,每一处理设 3 个重复。处理前,每一处理随机抽查 50 株小麦,调查其蚜虫数量,并分别挂牌标记;处理后调查当天和第 2 天各处理区挂牌小麦上的麦蚜数量;设不处理的为对照(共 3 个小区);试验结束后分别计算各处理的校正虫口减退率。

1.3 风雨数据采集与分级

根据观测试验地点距离海淀区气象站(39°59'N,116°17'E)较近(约 3km)的实际情况,风雨数据主要采用海淀区气象站的每日气象数据;并结合小麦生长季节每日的天气预报,在田间进行必要的实时测量记录。其中,风速风量的测量利用风速风量计(PROVA,型号 AVM-07)进行田间阵风的测量。

风速级别和降水级别的划分依据气象专业的常规分级方法^[19,20]。

1.4 分析方法

试验数据的统计分析采用 SPSS 13.0 版本软件进行分析。

不同处理间差异显著性检验的统计分析,采用 One-Way ANOVA/Duncan 方法分析。

确定差异显著水平为 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。

2 结果与分析

2.1 风对麦长管蚜种群发展的影响

2.1.1 风对麦长管蚜种群建立和发展期的影响作用

通过对麦长管蚜种群动态的观测发现,田间麦长管蚜的种群数量呈单峰型“缓升骤降”的变化趋势(图 1, A)。在麦蚜种群建立阶段的缓慢发展期(4 月 5 日~5 月 1 日),2006 年的累计蚜量及其种群发展速率明显低于 2007 年($P < 0.01$)。其主要原因是:2006 年和 2007 年小麦生育前期迁入的蚜量接近,但是在这一阶段的疾风和大风天气 2006 年明显多于 2007 年(图 1, B),如瞬间最大风速超过 14 m/s 的疾风和大风天气 2006 年有 6 次,2007 年仅 1 次。其中 2006 年 4 月 7、11、12、15、19 日和 23 日的疾风和大风天气(极大风速分别为 15.2、17.8、17.8、16.1、17.1、17.0 m/s),使建群后的麦蚜种群数量受到了明显抑制。这一阶段的麦蚜种群增长率与刮风天气的风力呈显著负相关($r = -0.989$, $P < 0.05$),并导致 2006 年麦蚜建群后的缓慢发展期种群密度一直低于 2007 年度。而在 2007 年 4 月 20 日的 1 次疾风天气(极大风速 15.5 m/s),持续一个小时的大风(平均风速 8.7 m/s)使风后的麦蚜数量下降了 37.2%,减缓了种群的发展速率。由此可见,在 2006 年和 2007 年前期基础蚜量相当的条件下,影响麦蚜建群和发展的关键性因素是风。

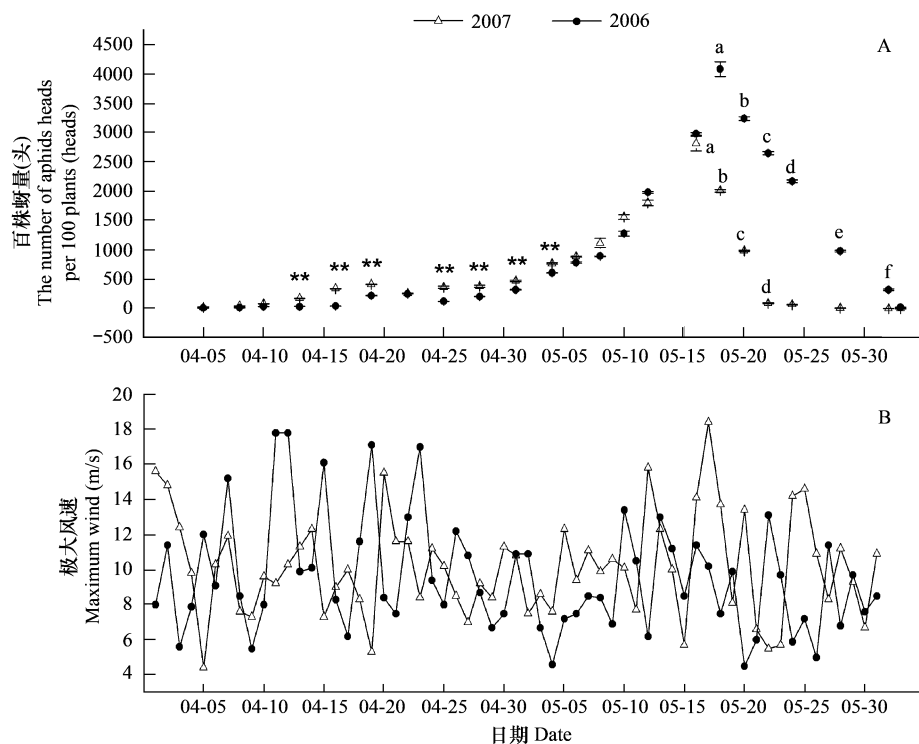


图 1 2006 年和 2007 年田间麦长管蚜种群消长动态(A)以及小麦生长发育阶段的风速动态实况(B)

Fig. 1 The population dynamics of *Macrosiphum avenae* (Fabricius) (A) and Wind velocity dynamics (B) in wheat growth and development stages in 2006 and 2007

** 年度间同期蚜量差异显著($P < 0.01$) Significant differences in contemporaneous aphid quantities among years($P < 0.01$); a,b,c,...: 相同年份不同调查日期差异显著($P < 0.01$) Significant differences in different investigated date in the same year($P < 0.01$)

2008 年麦长管蚜种群动态的观测结果(图 2, A)显示,种群数量仍呈单峰型“缓升骤降”的变化趋势。但麦蚜前期迁入数量明显少,2008 年的种群建立期间的蚜虫数量不及 2007 年同期蚜量的 1/25。在建群后的缓

慢发展期,4月25日(图2,B)的一场风,其极大风速达到18.8 m/s(大约有5个h平均风速在8.0 m/s以上),经过这样的强风干扰后,完全抑制了麦长管蚜种群数量的上升,使原本种群密度低、缓慢发展的麦长管蚜种群几乎处于停滞状态。

2.1.2 风对麦长管蚜种群上升和盛发期的影响作用

由于2006年5月份的强风和大风天气较少(图1,B),风速较均匀,因此没有造成麦蚜种群快速发展期(5月2日~5月11日,小麦抽穗-扬花期)的较大波动,并保障了种群盛发期(5月12日~5月22日,小麦灌浆期)较高的种群数量(图1,A)。

而在2007年则不同,在麦长管蚜种群的迅速上升阶段,5月12日的一场强疾风(极大风速15.8 m/s)将种群上升的速率被明显压低,其蚜虫数量与2006年相比,低约10%。但是在5月中下旬,疾风和大风出现频繁,且持续时间较长,如5月16日、17日以及18日连续的强风和大风天气,其中极大风速分别达到了14.1、18.4、13.7 m/s,这不仅压低了盛发期的最高蚜量,使风后种群密度直接下降了65% ($P < 0.01$),而且导致2007年度麦蚜种群盛期的缩短(比2006年早6d)。加之后期寄主营养与天敌的共同作用,从5月16~24日短短8天的时间,种群数量由2823头/百株迅速下降至几乎为0头,比2006年同期下降了92.1%(图1,A),之后种群彻底消退。

在2008年麦蚜种群快速发展期(小麦抽穗期),5月3日的大风(雨)天气(极大风速达到了18.4 m/s,其中12:00~13:00的平均风速高达9.8 m/s),严重干扰了麦蚜快速上升的趋势,减慢了麦蚜种群的发展速率,使麦蚜种群增长率出现一个明显地缓慢上升台阶(图2,A)。在种群处于盛发期的阶段,由于在5月18日的大风和20、21日的强风天气(极大风速分别达到17.9 m/s、13.7 m/s、12.7 m/s)使麦蚜种群数量迅速下降(图2,B),导致原本数量还能上升的种群转变为下降(与2007年同期的趋势相似),其种群再未出现恢复。强风至大风天气对麦长管蚜种群的直接干扰作用是十分显著的。

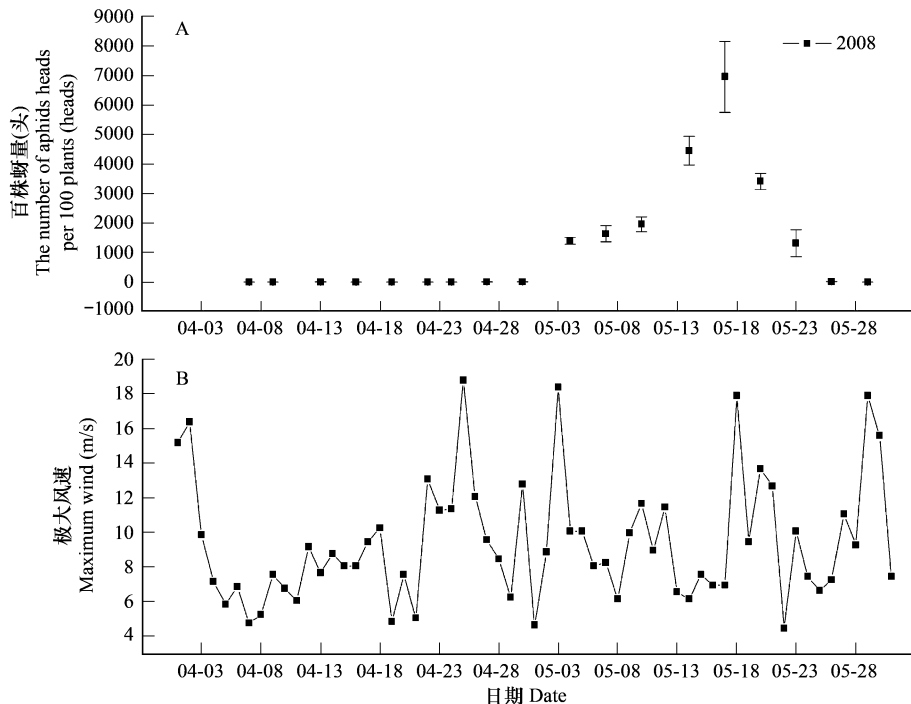


图2 2008年田间麦长管蚜种群消长动态(A)与小麦生长发育阶段的风速动态实况(B)

Fig. 2 The population dynamics of *Macrosiphum avenae* (Fabricius) (A) and Wind velocity dynamics (B) in wheat growth and development stages in 2008

2.2 降雨对麦长管蚜种群消长的影响

2.2.1 降雨对麦长管蚜种群发展的影响

据 2006 年、2007 年和 2008 年 4~5 月份雨日数据进行分析发现(图 3),降雨与风这一气象因素的作用相同,也是影响麦长管蚜种群数量动态的主要因素之一。2006 年 5 月的降雨比较频繁,尤其是 5 月下旬(图 3, A);2007 年同时期的降雨则较少(图 3, B);而 2008 年的降雨频次较多,尤其是 4 月下旬至 5 月中旬的降雨较频繁(图 3, C)。

2006 年 5 月 4 日的一场小雨(降雨量达到 4.7 mm)使处于快速发展期的麦蚜种群受到了一定的抑制,上升速率减缓。2006 年 5 月 25 日至 27 日 3d 降中雨(日最高降雨 17.6 mm),使麦蚜种群数量骤降,下降趋势几乎呈直线态。2007 年 5 月 22 日的一场大雨(降雨量达到 35.3 mm)以及当日的强风使麦蚜种群由原本的缓慢下降转变为快速下降趋势(图 1, A),从而缩短了小麦蚜虫的发生期。2008 年 5 月 3 日的降雨(降雨量达到 25 mm)和大风天气使原本处于快速上升阶段的麦蚜种群受到了明显抑制,种群上升变缓慢(图 2, A)。这些结果充分说明了风、雨具有一定的叠加效应,是影响麦长管蚜种群发展的关键因子之一。

2.2.2 降雨的干扰作用及麦蚜种群恢复时间

在 2008 年小麦孕穗期,观测了降雨对麦长管蚜种群发展的干扰效应(表 1)。4 月 20 日和 21 日两天的降水(降雨量分别为 32.2 mm、18.9 mm),风力不大(1~2 级,轻风),雨后 1d 调查,此次降雨使麦蚜种群密度下降 80% 以上($P < 0.01$)。随后的系统调查表明,降雨天气导致麦长管蚜种群数量骤降,并需要 7d 才恢复到雨前的种群密度。此次降雨后的 1d、4d 调查麦长管蚜种群密度,与降雨前的种群密度差异显著($P < 0.01$),到降雨后第 7 天麦长管蚜种群密度与降雨前的种群密度无明显差异。由此可以看出,在麦蚜种群发展初期,经过一次较长时间的小雨干扰,导致了麦长管蚜种群密度的骤降且需要一周的时间才能恢复到原种群基数,这充分说明降雨对麦长管蚜种群的发展具有显著的制约影响作用。

2.3 模拟风雨对麦蚜种群的干扰作用

通过初步的模拟试验结果(表 2)显示,人工喷水和吹风均可导致麦长管蚜虫口密度显著下降,随着喷水(降水)量和吹风风力的增加,虫口下降率明显提高($P < 0.01$)。其中,喷水 2(相当于大雨的降水量)处理的当天的矫正虫口下降率为 70% 以上,第 2 天蚜虫累计下降率达 80% 以上;吹风 2(相当于大风的风力)处理对麦蚜的干扰作用与喷水 2 处理的基本一致。由此可以看出,人工田间模拟可以达到自然风、雨相似的干扰作用。

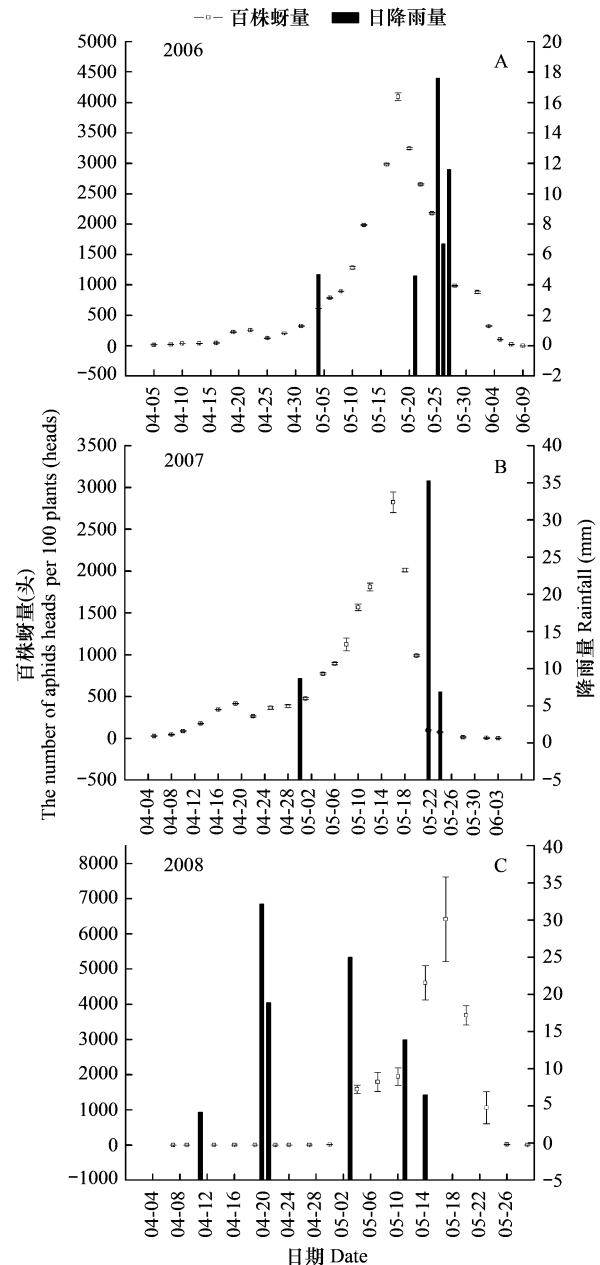


图 3 2006~2008 年 4~5 月份麦蚜种群动态和降雨实况
Fig.3 The population dynamics of aphids and rainfall in April and May from 2006 to 2008

表 1 降雨对麦长管蚜种群密度的影响及其恢复时间(2008 年)

Table 1 The effect of rainfall to population density of *Macrosiphum avenae* and recovery time (2008)

日期 Date	种群密度(头/百株) Population density(heads per 100 plants)	干扰后种群下降率(%) The decreasing rate of the population after being interfered(%)
04-19	33.20 ± 1.96 a A	0
04-22	6.40 ± 1.17 c C	81.18
04-24	15.20 ± 1.74 b B	54.67
04-27	32.80 ± 1.36 a A	0.77

表中数据为平均值 ± 标准误,下同 The data in the table are mean ± SE, the same below

表 2 模拟风雨对麦长管蚜种群密度的影响(2008 年)

Table 2 The effect of simulating wind and rain to population density of *Macrosiphum avenae* (2008)

处理 Treatment	当天虫口减退率(%) Decrease rate of population at the 1th day	第二天虫口减退率(%) Decrease rate of population at the 2rd day
喷水 1 Spraying water 1(15mm)	45.22 ± 2.35 b B	58.09 ± 5.07 b B
喷水 2 Spraying water 2(30mm)	70.17 ± 6.02 a A	81.73 ± 8.83 a A
吹风 1 Blowing 1(11m/s)	52.80 ± 2.13 b B	62.81 ± 2.22 b B
吹风 2 Blowing 2(18m/s)	71.42 ± 8.23 a A	82.10 ± 7.01 a A

3 讨论

在麦长管蚜种群发展过程有 3 个主要阶段,即种群缓慢发展期,种群盛发期和种群衰退期^[21]。本项研究结果显示,风雨对麦蚜种群不同发展阶段的干扰作用存在明显差异。例如:在麦蚜建立种群和缓慢发展阶段(小麦返青后至拔节期)如遭遇强度较大的风雨干扰,对种群高峰期虫口数量影响较小;在种群快速发展阶段(小麦扬花期)如遭遇强度较大的风雨干扰,对高峰期虫口数量的影响作用较建群及缓慢发展阶段要大;但强度较大的风、雨或风雨交加天气如果发生在麦蚜种群盛发期(小麦灌浆期),由于风雨干扰和天敌数量增多的共同作用使种群密度迅速下降,甚至完全消退,可不再实施防治措施。如 2007 年 5 月 17 日整天刮大风(阵风超过 7 级),18 日麦长管蚜种群数量急剧下降,使为害高峰期缩短 6d,每年相邻的小麦病害试验田都需要化学防治麦长管蚜,而 2007 年均未进行防治。由此可见,在寄主小麦和麦蚜种群发展的不同阶段出现大风骤雨天气,将使麦蚜的防治策略与技术(包括测报或者防治指标)发生变化。

影响麦长管蚜种群动态的气候因子不仅仅是风雨天气,气温的变化也是一个重要因子。麦长管蚜具有远距离迁飞的特性,在河北省北部(包括北京地区)不能越冬,春季迁入北京地区的麦长管蚜主要来自豫南、鲁南、苏北和皖北等我国南方麦区^[22]。由于 2007 年冬季和 2008 年春季我国南方遭遇了罕见的冰雪灾害,导致在南方麦区越冬的麦长管蚜基数显著下降。这可能是造成北京麦区 2008 年春末至夏初(种群建立和缓慢发展期间)迁入的麦长管蚜数量明显低于常年、种群发展过缓的主要原因。

田间调查发现,麦长管蚜多分布在小麦植株的上部和叶片的正面,并且易受惊动,故受风雨影响较突出。自然种群生命表的研究显示,天气条件是影响麦长管蚜种群动态的主要因素之一,且其影响程度与风雨的强度和持续的时间成正相关^[18]。根据已有研究结果的推测,风雨的作用机理可能是损伤麦长管蚜的口器,产生直接的杀伤作用。低龄幼虫口针嫩弱,且逃脱能力较成虫差,故受风雨影响大。还有雨水淹溺和泥土粘连作用,特别是有翅成蚜易被泥水粘连,不易起飞而逃避,因而易受雨水杀伤^[23]。有关风雨的作用机理尚需开展相应的系统研究。

自然天敌也是影响麦长管蚜种群发展的关键因子之一^[18]。虽然存在着明显的滞后效应,但从近年的观测看出,在麦蚜种群盛发期如果遇到风雨干扰时天敌的控制作用还是非常突出的。另外,大风和降雨天气常常伴随着温度和湿度的较大变化,也会影响蚜虫种群发展的变化。在小麦生育后期,温度、湿度、光照、风和降雨等因子以及寄主植物的营养情况均会对蚜虫的迁飞行为产生影响^[24]。大风会推迟麦蚜起飞,但不能抑制其起飞^[25]。而降雨会对温湿度产生一定的影响,促使麦蚜生存环境不适而迁出。因此,有关麦长管蚜种群不同发展阶段风雨与天敌的叠加控制作用,风雨对麦蚜种群的间接影响以及种群自身发生的反应和迁入迁出数

量的影响等,有待深入研究。

害虫综合治理策略就要求充分发挥自然因素的控制作用,所应用的措施应该对人类和有益生物安全,保护生物多样性,不污染环境。风雨是影响麦长管蚜种群发展的关键生态因子。因此,如何将风雨这种自然控害因子有机地融入现有的麦蚜测报与治理体系、形成新的生态调控措施尚需进一步研究。

References:

- [1] Zhang X X. Insect Ecology and Forecast. Beijing: China Agricultural Press, 2001. 15 — 31.
- [2] Arai T. Effects of light and temperature on the diel cyclicity of the larval jumping behavior of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* (Hendel). Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology, 1976, 20: 69 — 76.
- [3] Zhang A M, Liu X D, Zhai B P, et al. Influences of temperature on biological characteristics of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Hemiptera: Delphacidae). Acta Entomologica Sinica, 2008, 51 (6): 640 — 645.
- [4] Wei D W, Wang Z Y, Li L F, et al. Effects of temperature on development and reproduction of *Trichophyesis cretacea* (Butler) (Lepidoptera: Pyralidae). Acta Entomologica Sinica, 2005, 48 (6): 910 — 913.
- [5] Liu J H, Ye H. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Yuanjiang dry-hot valley, Yunnan with an analysis of the related factors. Acta Entomologica Sinica, 2005, 48 (5): 706 — 711.
- [6] Mei Z X, Wu Q J, Zhang Y J, et al. Life tables of the laboratory population of *Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang (Diptera: Mycetophilidae) at different temperatures. Acta Entomologica Sinica, 2004, 47 (2): 219 — 222.
- [7] Wu J H, Huang Z, Ren S X, et al. Effects of temperature on development and reproduction of *Sylepta derogata* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae). Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19 (6): 1325 — 1330.
- [8] Liu S Y, Zhao Q H, Wang J H. The study on the developmental threshold temperature and thermal constant of *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus). Entomological Knowledge, 1995, 32 (3): 139 — 140.
- [9] Hu G F, Wang K L, Zhang X R, et al. Studies on the developmental threshold temperature and thermal constant of *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) at variable temperature. Entomological Knowledge, 1996, 33 (1): 10 — 13.
- [10] Archer T L, Johnson G D, Peairs F B, et al. Effect of plant phenology and climate on Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) damage to winter wheat. Environmental Entomology, 1998, 27 (2): 221 — 231.
- [11] Archer T L, Peairs F B, Pike K S, et al. Economic injury levels for the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) on winter wheat in several climate zones. Journal of Economic Entomology, 1998, 91 (3): 741 — 747.
- [12] Ma G, Ma C S. Upper critical temperatures for behaviors of three species of cereal aphids in leaf temperature gradients. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (6): 2449 — 2459.
- [13] Du G L, Li K B, Yin J, et al. The dominant ecological factors in color change of *Macrosiphum avenae*. Entomological Knowledge, 2007, 44 (3): 353 — 357.
- [14] Liang H B, Zhang R Z, Zhang G X, et al. Infestation levels of *Diuraphis noxia* Mordvilko response to precipitation and irrigation. Acta Entomologica Sinica, 1998, 41 (4): 382 — 388.
- [15] Jin R H, Zhang J X, Bai Z H, et al. Preliminary Study on the relationship between the Rainfall and distribution of *Cydia pomonella* (L.). Plant Quarantine, 1996, 10 (3): 129 — 136.
- [16] Zhang R Z, Liang H B, Wang G P. Occurrence levels of the Russian Wheat Aphid in relation to climatic factors. Acta Entomologica Sinica, 1999, 42 (Supplement): 68 — 71.
- [17] Mann J A, Iatchell G M, Dupuch M J, et al. Movement of apterous *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) in response to leaf disturbances caused by wind and rain. Ann appl Biol, 1995, 126: 417 — 427.
- [18] Cao Y Z, Guo Y Y, Hu Y, et al. Preliminary study on the natural population life table of English grain aphid *Macrosiphum avenae* (Fabricius). Plant Protection, 1989, 16 (4): 239 — 243.
- [19] Ma X L, Diao Y Y, Wu Z L. Agrometeorology. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1996. 69 — 70.
- [20] Jiang H F. Agrometeorology. Beijing: Science Press, 2008. 16 — 17.
- [21] Wei Y C, Sun Y X, Li K B, et al. Preliminary study on natural population structure and dynamics of *Macrosiphum avenae*. China Plant Protection, 2008, 28 (6): 5 — 8.

- [22] Yang S Q, Yang Y L. A preliminary study on the relationship between long-distance migration and air motion in winter wheat region northern China. *Forecast of Disease and Pests*, 1991, (2): 11–16.
- [23] Li G B, Zeng S M, Li Z Q. Comprehensive treatment of diseases, pests, weeds and rodent pests of wheat. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1990. 319–325.
- [24] Liu X D, Zhai B P, Zhang X X. Advance in the studies of migration of aphids. *Entomological Knowledge*, 2004, 41 (4): 301–307.
- [25] Walters K F A, Dixon A F G. The effect of temperature and wind on the flight activity of cereal aphids. *Annals of Applied Biology*, 1984, 104: 17–26.

参考文献:

- [1] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社, 2001. 15–31.
- [3] 张爱民, 刘向东, 翟保平, 等. 温度对灰飞虱生物学特性的影响. *昆虫学报*, 2008, 51 (6): 640–645.
- [4] 韦德卫, 王助引, 黎柳锋, 等. 温度对双纹须歧角螟生长发育和繁殖的影响. *昆虫学报*, 2005, 48 (6): 910–913.
- [5] 刘建宏, 叶辉. 云南元江干热河谷桔小实蝇种群动态及其影响因子分析. *昆虫学报*, 2005, 48 (5): 706–711.
- [6] 梅增霞, 吴青君, 张友军, 等. 韭菜迟眼蕈蚊在不同温度下的实验种群生命表. *昆虫学报*, 2004, 47 (2): 219–222.
- [7] 吴建辉, 黄振, 任顺祥, 等. 温度对棉大卷叶螟生长发育和繁殖的影响. *应用生态学报*, 2008, 19 (6): 1325–1330.
- [8] 刘绍友, 赵清华, 王金花. 禾谷纵管蚜发育起点温度及有效积温研究. *昆虫知识*, 1995, 32 (3): 139–140.
- [9] 胡冠芳, 王克兰, 张新瑞, 等. 变温条件下禾谷统管蚜发育起点温度和有效积温研究. *昆虫知识*, 1996, 33 (1): 10–13.
- [12] 马罡, 马春森. 三种麦蚜在温度梯度中活动行为的临界高温. *生态学报*, 2007, 27 (6): 2449–2459.
- [13] 杜桂林, 李克斌, 尹姣, 等. 影响麦长管蚜体色变化的主导因素. *昆虫知识*, 2007, 44 (3): 353–357.
- [14] 梁宏斌, 张润志, 张广学, 等. 降水和灌溉对麦双尾蚜种群数量的影响. *昆虫学报*, 1998, 41 (4): 382–388.
- [15] 金瑞华, 张家娴, 白章红, 等. 苹果蠹蛾分布与降雨关系研究初报. *植物检疫*, 1996, 10 (3): 129–136.
- [16] 张润志, 梁宏斌, 王国平. 麦双尾蚜发生程度与气象因素的关系. *昆虫学报*, 1999, 42, (Supplement): 68–71.
- [18] 曹雅忠, 郭予元, 胡毅, 等. 麦长管蚜自然种群生命表研究初报. *植物保护*, 1989, 16 (4): 239–243.
- [19] 马秀玲, 刁瑛元, 吴钟玲. 农业气象. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 69–70.
- [20] 姜会飞. 农业气象学. 北京: 科学出版社, 2008. 16–17.
- [21] 韦永贵, 孙跃先, 李克斌, 等. 麦长管蚜自然种群结构动态的初步研究. *中国植保导刊*, 2008, 28 (6): 5–8.
- [22] 杨素钦, 杨逸兰. 北方冬麦区麦长管蚜远距离迁飞与气流运动的关系初探. *病虫测报*, 1991, (2): 11–16.
- [23] 李光博, 曾士迈, 李振岐. 小麦病虫害鼠害综合治理. 北京: 中国农业科技出版社, 1990. 319–325.
- [24] 刘向东, 翟保平, 张孝羲. 蚜虫迁飞的研究进展. *昆虫知识*, 2004, 41 (4): 301–307.