

模拟风雨对麦长管蚜自然种群发展的干扰作用^{*}

王 冰 李克斌 尹 姣 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 麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* (Fabricius) 是我国小麦生产上的重大害虫, 给小麦生产造成严重的威胁。本研究采用人工模拟风雨气象因子的方法, 研究了吹风和喷水对麦长管蚜种群数量的干扰作用, 解析了麦长管蚜在种群不同发展阶段受模拟风雨干扰后种群变化的特征, 明确了麦长管蚜受模拟风雨作用影响其种群生长的关键时期。结果表明, 在小麦田进行模拟风雨试验, 处理强度越大, 防治效果越好; 有目标的对靶喷施处理的防治效果明显高于非目标喷施处理; 确定人工喷水或吹风处理的最佳时期为小麦灌浆初期, 即在该阶段进行一次喷水处理, 可以获得最佳的防治效果和保产作用。

关键词 麦长管蚜, 模拟, 风雨, 种群动态, 干扰作用

Effects of simulated wind and rain on the natural population dynamics of *Macrosiphum avenae*

WANG Bing LI Ke-Bin YIN Jiao CAO Ya-Zhong^{**}

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

Abstract The English grain aphid *Macrosiphum avenae* (Fabricius) is one of the most prominent agricultural pests of wheat and causes economically significant damage to wheat crops in China. We artificially simulated wind and rain to investigate the effect of these weather conditions on the population development of *M. avenae*. Population development and recovery were slowed by simulated wind and rain at different stages of population development. Furthermore, the critical period of *M. avenae* population development was the most affected. The greater the treatment intensity the stronger the effect. The control effects of target spraying were obviously higher than those of non-target spraying. We found that the early filling stage of wheat was the most suitable period for the application of artificial rain or wind.

Key words *Macrosiphum avenae*, simulation, wind and rain, population dynamics, interference effect

麦长管蚜 *Macrosiphum avenae* (Fabricius) 属半翅目蚜科昆虫, 在全国麦区均有发生, 是大多数麦区的优势种之一(张广学和钟铁森, 1983; 杨素钦和杨逸兰, 1991)。20 世纪 90 年代中后期以来, 麦蚜已上升为我国农作物重大病虫害中的第 3 位, 防治后的实际损失占小麦主要病虫害之首, 每年平均损失小麦 70 多万吨, 占小麦主要病虫害造成损失总量的 1/3 (陈生斗和胡伯海, 2003)。进入 21 世纪后, 麦蚜发生面积一直居高不下, 全国麦蚜平均年发生面积持续保持在 1 200 万公顷次以上, 对我国小麦安全生产构成了严重威胁(曹雅

忠等, 2006b)。长期以来, 各地农民防治麦蚜危害主要依赖化学农药, 导致化学农药用量的不断增加和滥用农药现象的日趋严重, 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, 2006a)。

物理防治是历史悠久的害虫防治手段, 随着有害生物综合治理(IPM)实践日益增长的需求, 物理防治措施的优点不断突显。在蚜虫的物理防治方法中应用最广泛的主要是黄板诱集法。也有研究显示, 利用微波电磁场辐射技术防治蚜虫已取

^{*} 资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103022、200803002)。

^{**} 通讯作者, E-mail: yzcao@ippcaas.cn

收稿日期: 2011-09-10, 接受日期: 2011-10-16

得了相应的成果(陈绍勇,2003)。通过以往田间观测和麦蚜种群生命表的研究,发现生态因子(刘绍友等,1995;胡冠芳等,1996;Archer *et al.*, 1998a, 1998b;马罡和马春森,2007;杜桂林等,2007),尤其是降雨和大风直接或间接地影响着蚜虫种群的发生动态(曹雅忠等,1989;Mann *et al.*, 1995;梁宏斌等,1998;张润志等,1999;王冰等,2009)。因此,风雨作为影响害虫种群动态的重要因子,其对害虫控制效应的深入研究和探讨将为麦蚜无害化防治及资源的有效利用提供理论依据和技术指导。

本研究采用人工模拟的方法,研究喷水、吹风对麦长管蚜种群数量的干扰作用,解析麦蚜在种群不同发育阶段或寄主不同物候期受模拟风雨不同干扰强度后种群变化的特征,明确麦蚜受风雨干扰影响其种群变化的关键时期,为维持麦田生态系统的稳定性和小麦绿色生产提供新思路及可靠的技术保障。

1 材料与方法

1.1 试验材料与地点

观测试验在河北省廊坊市中国农业科学院廊坊科研中试基地(116°69' E, 39°52' N)进行。以田间自然发生的麦长管蚜为模拟风雨干扰试验观测的对象;小麦品种“中旱 101”为当地生产品种(感蚜品种),作为观测麦长管蚜的寄主植物和模拟试验寄主材料;小麦在田间常规种植与管理,生长期不施任何农药。

1.2 模拟风雨的器械及测量仪器

采用背负式机动喷雾机(东方红 3WB-15X,北京丰茂植保机械有限公司)和背负式手动喷雾器(工农 16 型,江阴市农业药械二厂)喷水模拟降雨因子,利用背负式机动喷粉机(东方红 WFB-18G,北京丰茂植保机械有限公司)吹风模拟刮风因子。喷雾器的“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。

1.3 试验方法

1.3.1 机动喷雾机和喷粉机不同动力档位处理对麦长管蚜控制比较 机动喷雾机喷水 and 机动喷粉机吹风防治麦长管蚜的田间试验。在小麦抽穗期利用背负式机动喷雾机、喷粉机对着生麦长管

蚜的小麦植株喷水或吹风,每平方米喷水或吹风处理 1 min。每一处理小区面积 4 m² 小麦,每一处理设 3~4 个重复。处理前,每一处理随机抽查 30 株小麦,调查其旗叶和穗部上蚜虫数量,并分别挂牌标记;处理后调查处理区挂牌小麦上的麦蚜数量;设不处理的对照(重复 3 个小区)。

1.3.2 常规行走喷药速度的模拟试验及麦长管蚜受干扰后种群恢复时间的观察 利用背负式机动喷雾、喷粉机,采用吹风(动力档位 5 档、6 档)、喷雾(动力档位 5 档、6 档)和吹风(5 档)+喷雾(6 档)5 个处理,风口距小麦穗或叶的距离在 20~30 cm 之间,下同。模拟田间常规喷药的行走速度,即处理时间约 20~30 s/m²。每一处理设 3 个重复。处理前,每一处理随机抽查 30 株小麦,调查每株小麦旗叶和穗部的麦长管蚜数量,并分别挂牌标记;处理后调查当天各处理区挂牌小麦旗叶和穗部上的麦长管蚜数量。

利用背负式机动喷雾机对着生麦长管蚜的小麦植株喷水(6 档键,处理 1 min/m²)处理。对所标记的小麦植株上的麦长管蚜种群数量进行详细的跟踪调查记录,直到麦长管蚜种群恢复到原密度时停止调查。各处理的面积及调查方法同 1.3.1。

1.3.3 对靶喷施与无目标喷施对麦长管蚜控制效果的比较 利用背负式手动喷雾器对试验小区的全部小麦植株无目标的普遍喷水与有目标(对准小麦植株上着生麦长管蚜的部位)进行喷水(即对靶喷施)的比较试验,每平方米喷水 1 min。各处理的面积及调查方法同 1.3.1。

1.3.4 不同小麦生育期相同喷水处理对麦长管蚜防治效果的比较 模拟实验采用手动喷雾器喷雾,在小麦不同生长发育阶段(拔节期、抽穗期、灌浆初期、灌浆后期和乳熟后期)进行一次对靶喷水处理,每平方米喷水 1 min。各处理的面积及调查方法同 1.3.1。

1.3.5 机动 5 档吹风处理对瓢虫种群的干扰与影响 在小麦灌浆初期,选取长势较好的小麦地,罩上长、宽、高分别为 2 m × 2 m × 2 m 的纱网罩,保证网罩内的小麦、蚜虫以及天敌昆虫均能采到充足的光源,并保持较好的通风条件。采用背负式机动喷粉机对网罩内的瓢虫吹风处理,吹风设(11 m ± 1 m)/s(相当于强风)风力处理。每一处理小区面积 4 m² 小麦,每一处理设 3 个重复。

处理前,调查网罩内(4 m²)蚜虫天敌种群(七星瓢虫、异色瓢虫以及龟纹瓢虫)的数量;处理后再调查当天各处理区网罩内所有蚜虫天敌种群的数量,设不处理的罩网内天敌种群数量为对照。

1.4 模拟风雨数据采集与分级

模拟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(马秀玲等,1996;姜会飞,2008)。

1.4.1 模拟风力级别 风力等级可以分为8个级别,具体分级见表1。

1.4.2 模拟降水级别 常见的降雨可分为小雨、中雨、大雨、暴雨4级,具体的等级描述见表2。

表1 风力等级表
Table 1 Wind power grade

风力等级 Wind scale	风级名称 Scale name	风速 Wind speed		陆地现象描述 Description of land phenomenon
		(m/s)	(km/h)	
0	无风	0—0.2	小于1	静,烟直上
1	软风	0.3—1.5	1—5	烟能表示风向,但风向标不能转动
2	轻风	1.6—3.3	6—11	人面感觉有风,树叶有微响,风向标能转动
3	微风	3.4—5.4	12—19	树叶及微枝摆动不息,旗帜展开
4	和风	5.5—7.9	20—28	能吹起地面灰尘和纸张,树的小枝微动
5	清劲风	8.0—10.7	29—38	有叶的小树枝摇摆,内陆水面有小波
6	强风	10.8—13.8	39—49	大树枝摆动,电线呼呼有声,举伞困难
7	疾风	13.9—17.1	50—61	全树摇动,迎风步行感觉不便
8	大风	17.2—20.7	62—74	微枝折毁,人向前行感觉阻力甚大

表2 降水等级表
Table 2 Precipitation scale

降雨等级 Rainfall grade	现象描述 Phenomenon description	一天内总量(mm) Total rainfall within one day (mm)	半天内总量(mm) Total rainfall within half a day (mm)
小雨 Light rain	雨能使地面潮湿,但不泥泞	1—10	0.2—5.0
中雨 Moderate rain	雨降到屋顶上有淅淅声,凹地积水	10—25	5.2—15
大雨 Heavy rain	降雨如倾盆,落地四溅,平地积水	25—50	15.1—30
暴雨 Rainstorm	降雨比大雨还猛,能造成山洪暴发	50—100	30.1—70

1.5 机动喷雾器风力强度的描述

风速是衡量风力强弱的一个指标。模拟实验采用机动喷粉机吹风,动力档位设5个档,分别为3档~7档,其风速大小见表3。

1.6 分析方法

蚜虫种群下降百分率用虫口减退率(%)或校正虫口减退率(%)表示(刘爱芝等,2001)。

虫口减退率 =
(处理前虫口基数 - 处理后剩余虫量) / 处理前虫口基数 × 100
(公式 3.1)

校正虫口减退率 =
(处理区虫口减退率 - 对照区虫口减退率) / (1 - 对照区虫口减退率) × 100
(公式 3.2)

表 3 风速强度的测定
Table 3 Measurement on the intensity of wind velocity

喷粉机动力档位 Dynamic stall	3 档 3 gear	4 档 4 gear	5 档 5 gear	6 档 6 gear	7 档 7 gear
风速范围(m/s) Speed range(m/s)	4.3—8.2	7.6—10.9	9.8—14.6	12.8—17.5	16.1—20.3
平均风速(m/s) Average wind speed (m/s)	6.2 ± 1.8	9.8 ± 1.9	12.3 ± 2.0	15.2 ± 1.9	18.3 ± 2.1
相对风级名称 Name of wind scale	和风	清劲风	强风	疾风	大风

注:风口距靶标的距离在 20 ~ 30 cm。

The distance from the target to the tuyere is about 20—30 cm.

数据资料属于非正态分布的,在方差分析中,需对数据进行适当的转换。转换的方法采用反正弦转换法(盖钧铭,2000)。即转换值为: $x' = \sin^{-1} \sqrt{p}$ (公式 3.3)

试验数据采用 SPSS13.0 版本统计软件进行分析。

作图采用 Origin 8.0 版本软件进行制作。

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,两样本均数差异显著性采用 Univariate/ Duncan 方法分析、Indendent-Samples T Test 分析方法分析。确定差异显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同动力档位处理对麦长管蚜的控制效果

不同动力档位(油门固定档,喷雾档 3 档至 7

档为动力逐渐增强)的喷水对麦长管蚜的防治效果(表 4)表明,它们之间存在显著差异($P < 0.05$),经数据经过校正后,3 档动力的蚜量下降率只有 36.67%,而 7 档动力却达到了 86.63%。即随喷雾机档位的提高(即单位时间喷水量增加)蚜虫下降率上升,其防治效果增强。在实际应用中喷雾机的动力档位可采用 5 档(实际防治效果可以达到 70.10%)或 6 档(每平方米喷水处理 30 s 左右)。

试验结果(表 5)显示,采用不同动力档位(油门调控档)的吹风对麦长管蚜的防治效果存在显著差异($P < 0.05$),随喷雾机档位的提高(即单位时间吹风量的增加),蚜虫下降率上升,其防治效果显著增强。在实际应用中喷雾机的动力档位可采用 5 档(实际防治效果可以达到 78.89%)或 6 档(每平方米吹风处理 30 s 左右),也可取得较好防效。

表 4 机动喷雾机不同动力档位喷水处理对麦蚜控制效果的比较

Table 4 Comparison of control effects to the *Macrosiphum avenae* by precipitation treatment of different dynamic stall

动力档位 Dynamic stall	3 档 3 gear	4 档 4 gear	5 档 5 gear	6 档 6 gear	7 档 7 gear
防治效果(%) Control effect (%)	35.63 ± 2.50	55.61 ± 3.16	70.10 ± 2.42	92.62 ± 2.81	99.06 ± 0.70
反正弦转换值 Arcsine transformed value	36.67 ± 2.33 e	48.26 ± 3.28 d	56.92 ± 2.46 c	74.87 ± 4.11 b	86.63 ± 4.28 a

注:表中数据为平均数 ± 标准误,标有不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 5 同。

The data in table are mean ± SE, and followed by different letters indicate significantly different at 0.05 level. The same for Table 5.

2.2 田间行走的喷水和吹风对麦长管蚜的控制效果

模拟田间常规喷药的行走速度(20 ~ 30s /

m²)的实验结果(图 1)显示,麦长管蚜受干扰的程度与风雨强度密切相关。在 5 档(相当于强风)吹风处理时,麦长管蚜种群密度可下降 30% 以上;在

6 档(相当于大风)吹风处理时,麦长管蚜种群密度可下降 40% 以上。在 5 档和 6 档喷雾处理时,6 档处理的下降大于 5 档。而风雨双重处理(即吹风和喷雾机同时处理)时,可使麦长管蚜种群密度下降 52.96%,其结果反映了蚜量下降率随处理强度的增强而提高。

表 5 机动喷雾机不同动力档位吹风处理对麦长管蚜控制效果的比较
Table 5 Comparison of control effects to the *Macrosiphum avenae* by blasting treatment of different dynamic stall

动力档位 Dynamic stall	4 档 4 gear	5 档 5 gear	6 档 6 gear	7 档 7 gear
防治效果 (%) Control effect (%)	59.40 ± 2.55	78.89 ± 2.71	87.17 ± 1.77	96.29 ± 2.86
反正弦转换值 Arcsine transformed value	50.46 ± 1.61 d	62.77 ± 1.95 c	69.08 ± 0.93 b	79.33 ± 2.13 a

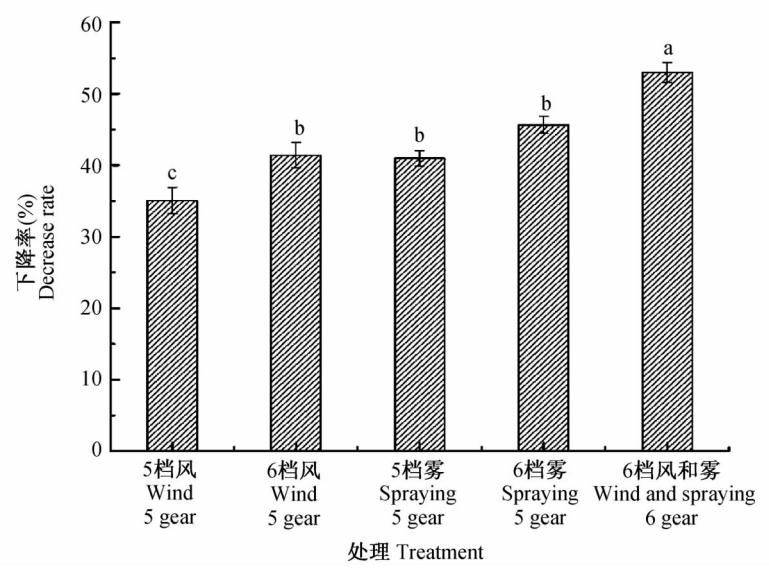


图 1 模拟短时间风雨对麦长管蚜种群密度的影响
Fig.1 Effect on population density of *Macrosiphum avenae* by simulated winds and rains in short time
柱上标有不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。下图同。

Histograms with different letters indicate significantly different at 0.05 level. The same below.

2.3 麦长管蚜种群受干扰后的恢复时间

在小麦灌浆中期,观测了麦长管蚜受喷水(6 档键,处理 1 min/m²)干扰后不同时间的种群数量动态。如图 2 所示,在喷雾处理的当天蚜量下降了 51.28%,第 2 天和第 3 天仍表现下降趋势。到处理的第 5 天时,田间麦长管蚜种群数量开始上升,第 7 天时,麦长管蚜的种群密度已经达到处理当天剩余蚜量的水平,但与处理前的种群密度还存在较大的差距。

2.4 对靶与普洒对麦长管蚜控制效果

表 6 结果显示,无论是在小麦抽穗期还是在小麦灌浆初期,对靶喷水处理与小区普遍喷水处理之间的防治效果都存在显著差异($P < 0.05$),其中有目标的对靶喷施处理的防治效果明显高于全部小麦植株普遍喷水的非目标喷施处理;非对靶喷施处理的防治效果在 56% 以上,然而对靶喷施处理的防治效果却可以达到 70% 以上,这说明对靶处理更能直接有效地降低麦长管蚜虫口密度,减轻其为害作用;而且有目标的喷施处理比非目标的喷施处理具有节约用水的经济效益。

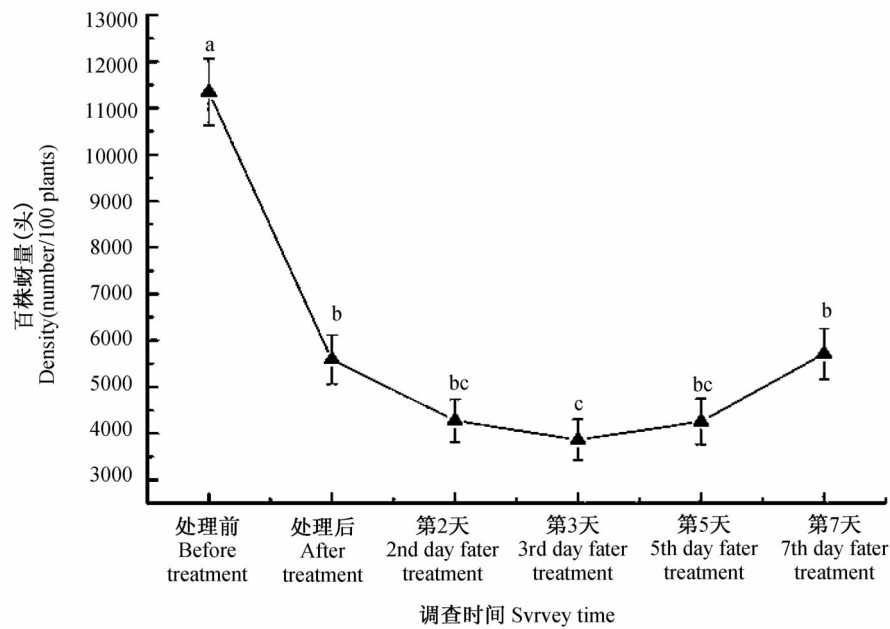


图2 麦长管蚜受干扰前后种群动态

Fig 2 Population dynamics of *Macrosiphum avenae* before and after interference

表6 对靶喷水与普遍喷水处理对麦长管蚜防治效果的比较

Table 6 Control effects to the *Macrosiphum avenae* comparing with treatments between target and general spraying

实验处理 Experimental treatment	防治效果 (%) Control effect (%)	
	抽穗期 Heading stage	灌浆初期 Early filling stage
普遍喷水 General spraying	56.27 ± 2.94	57.06 ± 3.07
对靶喷水 Target spraying	70.32 ± 3.13 *	72.93 ± 2.67 *

注:表中*表示为普遍喷水与对靶喷水两处理间的防治效果存在显著性差异($P < 0.05$)。

* indicates control efficacy between the two treatments with the target and general spraying are significantly different at 0.05 level.

2.5 小麦不同生育期相同喷水处理对麦长管蚜防治效果

如表7所示,喷水处理的当天(第1天)防治效果在不同生长期之间无显著差异($P > 0.05$),但到处理的第3天在不同阶段之间开始出现差异,即小麦灌浆初期(包括灌浆后期、乳熟后期)的防治效果与拔节期和抽穗期相比已显著上升($P < 0.05$);到处理后第5天时,“灌浆初期”的防治效果高于其他不同生长期处理的防治效果。从不同阶段喷水处理的测产结果来看,“灌浆初期”处理的小麦千粒重也显著高于其他4个处理及不喷水的对照($P < 0.05$);由此可见,喷水处理过早(拔节期)或过晚(乳熟后期)无控害保产作用,其千粒

重与不喷水对照(36.43 g)的相当;即灌浆初期是小麦受蚜害的敏感阶段,也是防控麦长管蚜为害的关键时期。

2.6 机动5档风处理对瓢虫种群的干扰与影响

在小麦灌浆初期采用机动喷粉机5档风处理方法,观测麦田捕食性优势天敌七星瓢虫、异色瓢虫以及龟纹瓢虫的种群变化。试验结果(表8)显示,在相同处理方式处理的条件下,田间罩网试验区内的3种瓢虫的数量在处理前和处理后没有显著影响($P > 0.05$),即处理前后瓢虫种群没有发生明显的变化。

表 7 不同小麦生育期相同喷水量处理对麦长管蚜防治效果的比较
Table 7 Comparison of control effects on the *Macrosiphum avenae* by the same treatment of water spray during different wheat growth stages

小麦生育期 Wheat growing period	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	灌浆初期 Early filling stage	灌浆后期 Late filling stage	乳熟后期 Late milk stage	空白对照 Control
第 1 天防效 (%)						
Control effect at 1st day (%)	56.19 ± 3.09 aA	55.57 ± 3.04 aA	56.79 ± 2.70 cA	56.10 ± 2.33 aA	57.67 ± 3.17 aA	—
第 3 天防效 (%)						
Control effect at 3rd day (%)	57.03 ± 3.13 aB	56.16 ± 2.73 aB	62.98 ± 2.67 bA	60.79 ± 3.08 aA	58.13 ± 3.75 aA	—
第 5 天防效 (%)						
Control effect at 5th day (%)	54.25 ± 3.67 aB	57.33 ± 2.45 aB	66.73 ± 3.13 aA	61.67 ± 3.79 aA	59.97 ± 4.13 aA	—
千粒重 (g)						
1000-grain weight (g)	36.33 ± 2.87 C	44.67 ± 2.37 B	51.17 ± 2.13 A	46.33 ± 2.15 B	36.95 ± 2.67 C	36.43 ± 2.16 C

注:a、b、c 不同小写字母表示为同一列数据间的差异显著($P < 0.05$),A、B、C 不同大写字母为同一行数据间的差异显著($P < 0.05$)。
Data followed by different lower-case letters in the same column indicate significantly different at 0.05 level, and followed by different capital letters indicate significantly different at 0.05 level in the same row.

表 8 吹风处理对瓢虫种群密度的影响
Table 8 Effect on population density of ladybirds by simulated winds

实验处理 Experimental treatment	种群密度(头/4m ²) Population density (head / 4m ²)		
	七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i>
处理前 Before treatment	23.10 ± 2.03	16.39 ± 1.84	7.67 ± 1.76
处理后 After treatment	22.87 ± 1.68	15.16 ± 1.15	7.00 ± 1.53

3 讨论

在田间,昆虫栖息的生境与非生物环境因子(田间小气候)紧密相关。气候因素主要包括温度、光照、湿度、降雨和气流等物理因子。它们不仅直接影响昆虫的生长发育、生存和繁殖,而且还可以通过间接地影响寄主植物或天敌等生物因素来干扰害虫的发生(王冰等,2009)。本试验设计并采用不同的模拟田间风雨的方法防控麦长管蚜种群发展。该方法以气象学上降水级别和刮风级别的标准为依据,设定了不同的处理强度,以期明确最有效的处理方法和获得最佳的防控效果。

Mann 等(1995)模拟风雨的试验显示,不同风的强度对蚜虫从植物掉落的百分率和蚜虫丢失率有不同程度的影响,当干扰随降雨强度和降雨持续时间的增加而增强时,蚜虫消失的比率也随之增加,死亡率也在上升。这一结论与本试验的研究结果相一致,即随着处理强度的增加,防治效果亦随之提高。此外,本试验还研究了麦长管蚜经模拟风雨处理后的种群发展趋势。在小麦灌浆初期,麦长管蚜受降水干扰后的第 7 天时其种群密度才达到处理当天剩余蚜量的水平。可见,麦长管蚜种群拟恢复到原密度尚需较长的时间,甚至难以恢复到原来的密度水平。同时,本研究还发

现,无论是在小麦抽穗期还是在小麦灌浆初期,有目标的对靶喷施处理的防治效果明显高于全部小麦植株普遍喷水的非目标喷施处理;非对靶喷施处理的防治效果在 56% 左右,然而对靶喷施处理的防治效果却可以达到 70% 以上,这说明对靶处理更能直接有效地降低麦长管蚜密度,减轻其为害作用;而且有目标的喷施处理比非目标的喷施处理具有节约用水或节能的经济效益。

本试验在小麦不同生育期实施喷水处理中比较了对麦长管蚜的防治效果和对小麦产量的影响。在小麦灌浆初期的防治效果已明显高于其他 4 个生育期的处理;从不同阶段喷水处理的测产结果来看,“灌浆初期”处理的小麦千粒重显著高于其他 4 个处理及不喷水的对照;可见,喷水处理过早(拔节期)或过晚(乳熟期)无明显的保产作用,其千粒重与不喷水对照的相当,表明小麦灌浆初期是小麦受蚜害的敏感阶段。根据以往对麦长管蚜及其天敌数量动态的观测,发现小麦灌浆初期优势种麦蚜已进入盛发期,而天敌的盛发期存在明显的滞后效应,尚不能抑制蚜量突增(曹雅忠和李世功,1990),需要人为压低虫口数量来提高“益害比”和控害保产效果。因此,确定人工喷水处理的最佳时期为小麦灌浆初期,即在该阶段进行一次喷水处理,可以获得最佳的防治效果和保产作用。

已有研究表明,在大多麦区的蚜虫天敌主要是捕食性天敌。其中,七星瓢虫和异色瓢虫对麦蚜的控制能力最强,其单头成虫或高龄幼虫的日捕食蚜量 100 ~ 200 头,一生总食蚜量 6 000 ~ 10 000 头(曹雅忠和李世功,1990)。本试验的田间观测发现,模拟风雨对于麦蚜的捕食性天敌龟纹瓢虫、七星瓢虫和异色瓢虫种群数量的影响较小,主要可能是因这些天敌的个体大,抵抗风雨等因子的干扰能力强,所以人工喷水及吹风措施对其无明显影响。因此,相对于化学防治措施而言,模拟风雨的防控措施对天敌具有一定的保护作用。

随着人们对生态调控以及害虫综合防治意识的日益增强,对环境保护所寄予的期望也越来越大。大风和降雨作为重要的生态因子,对害虫的生存和发展有极大地干扰效应。为此,有效利用这些生态因子进行调节、防控以及准确地预测预报为 IPM 提供了重要的理论依据,从而使害虫生

态调控的理念得到更全面地发展(Fitt, 1989, 2003;常晓娜等,2008)。大风和降雨等物理方法在控制害虫的重要性和实践价值应得到更多植保工作者的高度关注。

参考文献(References)

- Archer TL, Johnson GD, Peairs FB, Pike KS, Kroening MK, 1998a. Effect of plant phenology and climate on Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) damage to winter wheat. *Environ. Entomol.*, 27(2):221—231.
- Archer TL, Peairs FB, Pike KS, Johnson GD, Kroening M, 1998b. Economic injury levels for the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) on winter wheat in several climate zones. *J. Econ. Entomol.*, 91(3):741—747.
- 曹雅忠,郭予元,胡毅,武予清,1989. 麦长管蚜自然种群生命表研究初报. 植物保护,16(4):239—243.
- 曹雅忠,李克斌,尹姣,张克诚,2006a. 小麦主要害虫的发生动态及可持续控制的策略与实践. 中国植保导刊,26(8):11—14.
- 曹雅忠,李世功,1990. 麦蚜及其综合治理//李光博等编. 小麦病虫草鼠害综合治理. 北京:中国农业出版社. 316—339.
- 曹雅忠,尹姣,李克斌,张克诚,李贤庆,2006b. 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.
- 常晓娜,高慧璟,陈法军,翟保平. 环境湿度和降雨对昆虫的影响. 生态学杂志,2008,27(4):619—625.
- 陈绍勇. 2003. 一种微波电磁场辐射能杀虫机. 中国, CN2534824. 2003—02—12.
- 陈生斗,胡伯海,2003. 中国植物保护五十年. 北京:科学出版社. 289—300.
- 杜桂林,李克斌,尹姣,刘辉,曹雅忠,2007. 影响麦长管蚜体色变化的主导因素. 昆虫知识,44(3):353—357.
- Fitt GP, 1989. The ecology of *Heliothis* species in relation to agroecosystems. *Annu. Rev. Entomol.*, 34:17—52.
- Fitt GP, 2003. Implementation and impact of transgenic Bt cottons in Australia//Swanepoel A (ed.). Proceedings of the World Cotton Research Conference, Cotton Production for the New Millennium. Rustenburg, South Africa; Agricultural Research Council-Institute for Industrial Crops. 371—382.
- 盖钧镒,2000. 试验统计方法. 北京:中国农业出版社. 125—127.
- 胡冠芳,王克兰,张新瑞,朱福成,1996. 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,33(1):10—13.

- 姜会飞, 2008. 农业气象学. 北京: 科学出版社. 16—17.
- 梁宏斌, 张润志, 张广学, 文勇林, 王国平, 1998. 降水和灌溉对麦双尾蚜种群数量的影响. 昆虫学报, 41(4): 382—388.
- 刘爱芝, 李素娟, 李世功, 武予清. 2001. 三种杀虫剂对麦田蚜虫和天敌的影响. 昆虫知识, 38(2): 125—127.
- 刘绍友, 赵清华, 王金花, 1995. 禾谷纵管蚜发育起点温度及有效积温研究. 昆虫知识, 32(3): 139—140.
- 马罡, 马春森, 2007. 三种麦蚜在温度梯度中活动行为的临界高温. 生态学报, 27(6): 2449—2459.
- 马秀玲, 刁瑛元, 吴钟玲, 1996. 农业气象. 北京: 中国农业科技出版社. 69—70.
- Mann JA, Iatchell GM, Dupuch MJ, Harrington R, Clark SJ, McCartney HA, 1995. Movement of apterous *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) in response to leaf disturbances caused by wind and rain. *Ann. Appl. Biol.*, 126: 417—427.
- 王冰, 李克斌, 尹姣, 杜桂林, 郭萧, 王玉卿, 曹雅忠, 2009. 风雨对麦长管蚜自然种群发展的干扰作用. 生态学报, 29(8): 4317—4223.
- 杨素钦, 杨逸兰, 1991. 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, (2): 11—16.
- 张广学, 钟铁森, 1983. 中国经济昆虫志第 25 册(同翅目蚜虫类 一). 北京: 科学出版社. 1—387.
- 张润志, 梁宏斌, 王国平, 1999. 麦双尾蚜发生程度与气象因素的关系. 昆虫学报, 42(Suppl.): 68—71.

大豆蚜危害胁迫对大豆叶片几个重要生理指标的影响*

王兴亚^{1**} 周俐宏² 陈彦¹ 赵彤华¹ 徐蕾¹ 许国庆^{1***}

(1. 辽宁省农业科学院植物保护研究所 沈阳 110161; 2. 辽宁省农业科学院花卉研究所 沈阳 110161)

摘要 大豆蚜 *Aphis glycines* Matsumura 是为害大豆 (*Glycine max*) 的重要害虫, 已给我国大豆生产造成了较为严重的经济损失。本研究通过测定大豆蚜危害胁迫后大豆叶片可溶性蛋白、非可溶性蛋白、可溶性糖含量及 2 种防御性酶——过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性的动态变化, 探讨大豆蚜危害胁迫对大豆叶片几个重要生理指标的影响。研究表明, 受到大豆蚜危害胁迫的大豆叶片与未受为害叶片中所含可溶性蛋白含量存在极显著差异 ($t_{0.01} = 11.814, df = 4, P < 0.01$), 且前者较后者含量明显增高 $1.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。与之相比较, 非可溶性蛋白与可溶性糖含量分别在此两处理间无显著差异 ($t_{0.05} = -1.104, df = 4, P > 0.05$; $t_{0.05} = -2.639, df = 4, P > 0.05$)。此外, 受到大豆蚜危害胁迫的大豆叶片较未受为害叶片中所含 POD 活性有所升高, 但在两处理间 POD 活性无显著差异 ($t = -2.639, df = 4, P > 0.05$)。同时, 受到大豆蚜危害的大豆叶片较未受为害的大豆叶片中 CAT 活性增强。本研究有助于揭示大豆蚜对大豆的危害机理, 评价不同大豆品种对大豆蚜虫危害的耐受程度, 也为大豆抗虫品种选育以及大豆蚜的可持续控制提供理论依据。

关键词 大豆蚜, 危害胁迫, 生理指标, 防御性酶

The activity of some physiological indexes of soybean leaves fed by *Aphis glycines*

WANG Xing-Ya^{1**} ZHOU Li-Hong² CHEN Yan¹ ZHAO Tong-Hua¹ XU Lei¹ XU Guo-Qing^{1***}

(1. Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China;

2. Institute of Flower Research, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract The soybean aphid, *Aphis glycines* Matsumura, is an important agricultural pest in China that causes economically significant damage in some major soybean, *Glycine max* Merr. (L), production areas. In order to determine the effect of *A. glycines* on the physiology of soybean leaves, we investigated changes in some physio-biochemical indices of leaves, such as soluble and insoluble protein content, soluble carbohydrate (SC) content and the activity of two defensive enzymes; peroxide enzyme (POD) and catalase (CAT). The results show that heavy infestations of aphids significantly ($t_{0.01} = 11.814, df = 4, P < 0.01$) increased soluble protein levels in soybean leaves compared to aphid-free leaves. However, there was no significant difference in insoluble protein ($t_{0.05} = -1.104, df = 4, P > 0.05$) or soluble carbohydrate ($t_{0.05} = -2.639, df = 4, P > 0.05$) between aphid infested and aphid-free leaves. In addition, the results also indicate that levels of POD were higher in aphid-infested leaves than in control leaves, however, this difference was not significant ($t_{0.01} = -2.639, df = 4, P > 0.05$). Aphids also caused a marked increase in CAT levels in soybean leaves. These results shed light on the mechanisms by which soybean aphids damage soybeans and also those by which soybeans attempt to protect themselves from aphids. Such information provides a useful basis for selecting insect-resistant soybean cultivars and setting up a theoretical framework for the development of appropriate management strategies.

Key words *Aphis glycines*, herbivore stress, physiological indexes, defensive enzyme

* 资助项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103022)。

** E-mail: wangxingya2008@yahoo.cn

*** 通讯作者, E-mail: xgq66@126.com

收稿日期: 2011-09-15, 接受日期: 2011-10-28

大豆蚜 *Aphis glycines* Matsumura 是为害大豆的重要害虫, 隶属于半翅目 Hemiptera 蚜科 Aphididae 蚜属 *Aphis* Linnaeus (张广学和钟铁森, 1983)。大豆蚜为典型的刺吸式害虫, 常以成、若蚜群集在大豆嫩叶、嫩茎等处为害, 致使叶片变黄、卷曲, 植株生长迟缓、分枝及结荚减少, 导致大豆严重减产。此外, 大豆蚜亦可传播大豆花叶病毒病 (SMV) 等病害 (王素云等, 1996; 王春荣和邓秀成, 2005)。目前, 该种蚜虫广泛分布于我国东北、华北、华南和西南等大豆主产区。在大豆蚜中等发生年份, 常造成大豆减产 20% ~ 30%, 严重年份则减产高达 50% 以上 (王春荣等, 1998; 苗进等, 2005)。例如, 1998 年绥化地区大豆蚜发生面积 20 万 hm^2 , 减产大豆 1.125 亿 kg (于振民, 1999)。2004 年, 大豆蚜在黑龙江省大面积发生, 受害面积达 139.3 万 hm^2 (王春荣等, 2005)。在国外, 近年来大豆蚜为害亦很严重, 自 2000 年大豆蚜入侵到北美以来, 已造成 2 500 万 hm^2 北美大豆主产区受害 (Ragsdale *et al.*, 2004)。

一般情况下, 植物在受到生物逆境胁迫 (如病害、虫害) 时, 常会引起植物体内与植物抗逆性相关的生理生化变化, 有关植物受病害侵染后生理生化的变化及其与植物抗病性的关系已有一些报道 (Stafford, 1974; 郭海军等, 1995; Wojtaszek, 1997; 苗则彦等, 2003)。在植物受虫害危害胁迫后寄主植物生理生化变化的研究则不多, 且主要集中于植物次生代谢与抗虫性的研究 (钦俊德, 1995; 张瑛和严福顺, 1998; 李润植等, 1998; 黄瑞冬等, 1998)。特别是刺吸式口器昆虫危害胁迫后对寄主植物体内重要生理指标影响的研究甚少 (王海波和周纪纶, 1988; 王海波等, 1994; 李玉泉等, 2001; 张丽等, 2005)。近年来, 关于蚜虫取食对植物防御酶活力的影响已成为当前研究热点。寄主受到害虫危害后, 植物体内活性氧代谢系统的平衡受到影响, 体内膜脂过氧化和膜脂脱脂作用被启动, 从而破坏膜结构。活性氧清除酶系, 如过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 等都在植物的抗虫防御过程中起重要的保护作用 (张金锋和薛庆中, 2004; Liu *et al.*, 2005)。迄今为止, 关于大豆蚜危害胁迫后所引起大豆植株的生理生化的变化尚无具体研究。

因此, 本试验对大豆蚜危害胁迫后大豆叶片中可溶性蛋白、非可溶性蛋白、可溶性糖含量以及

2 种防御性酶——POD 和 CAT 活性的动态变化进行研究, 以此探讨大豆蚜危害胁迫对大豆叶片几个重要生理指标的影响, 进而为大豆抗虫育种以及大豆蚜的综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源与作物品种 (系)

试验供试虫源采自辽宁省鞍山市岫岩满族自治县大豆田自然发生的大豆蚜, 带回辽宁省农业科学院 (沈阳) 的日光温室内进行饲养, 温度 (20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 75% RH, 光照 L:D = 14:10, 其后代供实验使用。供试大豆品种为“辽豆 15”。

1.2 研究方法

采用花盆 (直径 30 cm) 盆栽“辽豆 15”, 每盆 3 株大豆植株, 共计 30 株。当大豆生长到 V3 期时, 选取其中 5 盆 (15 株) 接大豆蚜, 每株成功接上 5 头大豆蚜成蚜, 另外 5 盆 (15 株) 不接虫作为对照。当大豆植株生长到 V5 期时, 分别剪取受到大豆蚜严重为害的大豆植株上部嫩叶 (蚜量 ≥ 300 头/株), 每次取叶片 3 片, 小心除去蚜虫, 用 70% 酒精消毒, 清水洗净并擦干, 与对照叶片分别进行生理指标测定。

1.3 生理指标测定方法

1.3.1 可溶性蛋白含量测定 参照罗光华等 (1989), 采用考马斯亮蓝 G-250 染色法 (coomassie brilliant blue G-250) 进行测定, 略作改进。称取 0.5 g 处理叶片 (受到大豆蚜危害胁迫的大豆叶片和未受为害的大豆叶片), 研磨成匀浆, 转入 10 mL 离心管, 4°C 条件下 10 000 r/min 离心 20 min, 所得上清液即为可溶性蛋白。吸取提取液 0.1 mL, 加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 和 0.9 mL 蒸馏水, 充分混合, 放置 2 min 后于 595 nm 下比色, 记录光密度 $\text{OD}_{595\text{nm}}$, 并通过标准曲线查得样品中蛋白质含量。以蒸馏水做空白对照, 每个处理 3 次重复。

1.3.2 非可溶性蛋白含量测定 参照罗光华等 (1989), 采用考马斯亮蓝法进行测定, 略作改进。称取 0.5 g 处理叶片, 研磨成匀浆, 转入 10 mL 离心管。 4°C 下 10 000 r/min 离心 20 min, 倾去上清液。沉淀中加 3 mL 1 mol/L NaOH 溶液, 90°C 水浴保温 20 min。 4°C 条件下 4 000 r/min 离心 10 min, 所得上清液即为非可溶性蛋白。测定方法同 1.3.1。

1.3.3 可溶性糖含量测定 参照余叔文和汤章