

沈阳地区吸虫塔监测大豆蚜迁飞动态 及其与气象因子关系的分析*

徐 蕾** 钟 涛 赵彤华 许国庆***

(辽宁省农业科学院植物保护研究所, 沈阳 110161)

摘 要 【目的】明确沈阳地区吸虫塔对大豆蚜 *Aphis glycines* (Matsumura) 迁飞活动的监测效果以及对其有显著影响的气象因素, 为大豆蚜防控提供预警信息。【方法】2009 年至 2014 年采用吸虫塔 (Suction trap) 对大豆蚜的迁飞活动进行自动、实时监测。结合当年田间大豆蚜动态调查, 分析吸虫塔诱捕量与田间蚜量的相关性; 采用逐步回归分析研究了吸虫塔诱捕量与气象因素的关系。【结果】监测及分析结果表明, 吸虫塔诱捕量与田间大豆蚜量之间存在显著的相关性。吸虫塔诱捕的始见期和首次高峰期均早于田间发生的大豆蚜始见期和盛发期, 吸虫塔的监测结果对田间蚜虫的发生可以起到预警的作用。诱捕量与气象因子的逐年回归模型分析结果显示, 温度和降水量是影响大豆蚜有翅蚜迁飞的重要气象因素; 总回归模型显示, 试验期间, 吸虫塔当年度诱捕量与前一年度冬季极端最低温、4—6 月均温、6—7 月最低温、9 月均温具有正相关同步协同作用, 而与 6—7 月降雨量和 9 月雨日具有负相关反向抑制作用。【结论】吸虫塔监测结果比较清晰的展示了大豆蚜的迁飞习性, 很好的拟合了当年田间大豆蚜的种群动态。结合气象因子和诱捕量的预测模型研究, 为吸虫塔及时准确的发挥预警功能提供必要的理论指导和实践依据。

关键词 吸虫塔, 大豆蚜, 气象因子, 回归模型

Migration quantitative dynamic of *Aphis glycines* in the suction trap monitor and the relationships with meteorological factors in Shenyang

XU Lei** ZHONG Tao ZHAO Tong-Hua XU Guo-Qing***

(Institute of Plant Protection, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract [Objectives] To determine the effectiveness of suction trap in monitoring the migration of *Aphis glycines* and indicate the key meteorological factors in early warning of outbreaks of *A. glycines*. [Methods] The suction trap was used to automatically and real-time monitor *A. glycines* in conjunction from 2009 to 2014. The relativity between the numbers of *A. glycines* caught in suction trap and in the field was analyzed. Their relationship based on trapped quantity and meteorological factors was studied by stepwise regression analysis. [Results] The results show that the trapped quantity was significantly correlated with the number of aphids in the field. The first appearance period and the peak period of the capture in suction trap were both earlier than those in the field, The monitor results of suction trap can be used as a previous warning for the occurrence of aphids in the field. According to the forecasting regression model of the trapped quantity about the meteorological factors, temperature and rainfall are important factors that affect the migration of *A. glycines*. With the reflection to the general regression model, the trapped quantity is positively related to extreme low temperature in the previous year, average temperature from April to June, minimum temperature from June to July and average temperature in September, while it is negatively related to the rainfall from June to July, rainfall days in September. [Conclusion] Suction trap clearly

* 资助项目 Supported projects: 国家公益性行业科研专项经费项目 (201103022)

**第一作者 First author, E-mail: syxlei81@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: XGQ66@126.com

收稿日期 Received: 2015-10-10, 接受日期 Accepted: 2016-03-22

demonstrates migratory habits of *A. glycines*, which is a good way to measure *A. glycines* population dynamics in the field. Prediction model of meteorological factors on trapped quantity could provide for theoretical guidance and practical basis to exert suction trap in time, sufficiently and accurately.

Key words *Aphis glycines*, suction trap, meteorological factors, regression model

大豆蚜 *Aphis glycines* (Matsumura) 是我国大豆产区最主要的害虫之一, 苗期发生严重时可整株植株死亡, 导致大豆品质及产量严重下降 (刘健和赵奎军, 2007)。东北地区是我国大豆主产区, 大豆蚜常年发生危害 (戴长春等, 2014)。大豆蚜是一种小型迁飞性昆虫, 因此很容易随气流迅速扩散, 有可能在较短的时间内进行长距离的传播 (Anderson and Bromley, 1987)。

准确预测和推断田间害虫的迁移和定殖是非常必要的, 因为在田间取样的昆虫种群对区域内的种群动态的反映并不全面, 昆虫吸集器可以提供一种监测蚜虫的有效技术 (Rhainds *et al.*, 2010)。吸虫塔 (Suction trap) 是长期监测小型迁飞性昆虫时空动态的大型植保设备, 早在 1950 年吸虫塔首次设立并且开始作为采集迁飞性昆虫的有效工具 (Johnson, 1950a, 1950b; Johnson and Taylor, 1955), 此后在欧洲和美国已建立了大范围覆盖的吸虫塔监测网络, 用于迁飞性害虫种群的监控和生态学研究 (Van and Leoni, 1970; Wainhouse, 1980; Goodenough *et al.*, 1983; Kimsey and Brittnacher, 1985; Taubert and Hertl, 1985)。中国科学院动物研究所与河南省济源白云实业有限公司合作研发并生产了国内首台吸虫塔设备, 先后在全国多个省、市、县的小麦主产区和大豆主产区安装和运行, 开展蚜虫防控工作, 重点监测麦类蚜虫和大豆蚜 (苗麟等, 2011; 乔格侠等, 2011)。2011 至 2014 年间, 已经对包括河南省原阳 (蒋月丽等, 2011)、湖北武汉 (霍然, 2011)、河北廊坊 (杜光青等, 2014; 李克斌等, 2014)、黑龙江省哈尔滨 (王爽等, 2014) 等地区的吸虫塔设备对麦类蚜虫和大豆蚜的监控情况进行报道。本研究从 2009 年开始在沈阳地区试验基地设立吸虫塔设备, 多年来持续监测大豆蚜有翅型的迁飞动态, 并同步开展田间大豆蚜的种群消长动态调查, 以评估吸虫塔对大豆蚜田间发生的预警机制; 本文对降雨量、均温、风

速等气象因子对吸虫塔诱捕量的影响进行了逐年分析, 评价了各因子的相关水平, 并且依据吸虫塔监测下的三个关键时期大豆蚜始见期、一次高峰期和二次高峰期, 对年诱捕量和相应时间区间的气象因子进行分析, 得到的回归模型符合大豆蚜的生活史规律。本文是对 6 年来沈阳地区吸虫塔对大豆蚜监测情况的首次报道, 以此为吸虫塔蚜虫监测系统的构建提供基础数据, 为更全面的制定蚜虫的防控策略提供支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点

辽宁省农业科学院试验基地, 在吸虫塔运行期间, 试验地周围作物以大豆、花生为主, 有少量玉米。

1.2 试验设备

吸虫塔试验装置高 8.8 m, 安装于辽宁省农科院试验基地, 地址沈阳市沈河区东大营街, N41°49'10.54", E123°32'19.42", 海拔 54.72 m。设备由中国科学院动物研究所参与研发, 由河南省济源白云实业有限公司生产。

气象数据采集自 Watch Dog 2000 Series Weather Station 小型自动气象站, 由美国 Spectrum Technologies, Inc. 公司生产。

1.3 吸虫塔样本采集方法

自 2009 年至 2014 年开始大豆蚜标本采集工作, 试验期间吸虫塔保持全天候运转。

样品收集器中注入 95% 的酒精溶液保存吸入的昆虫标本, 平均每隔 7 d 为一个周期更换收集器。分拣出的目的昆虫标本单独标注、编号, 并在超低温冰箱内冷冻保存。

1.4 田间大豆蚜调查方法

自 2009 年至 2014 年, 每年 5 月初播种, 大

豆品种选用辽豆 15, 播种面积约为 0.67 hm^2 。

从 6 月下旬田间发现大豆蚜开始调查, 至 9 月中旬田间无大豆蚜踪迹而结束。调查采用棋盘式取样法, 调查 10 个样点, 每样点连续调查 10 株, 每 7 d 调查一次。

1.5 气象因素的收集整理

吸虫塔设备所在地 2009 至 2014 年的气象数据一部分由 Watch Dog 小型气象站记录并进行采集、整理获得, 一部分由国家气象信息中心提供。

试验期间内的逐日气象资料包括平均气温、最高气温、最低气温、降雨量、相对湿度和风速, 按吸虫塔样本采集的周期, 将原始逐日气象数据换算成对应周期内的日平均值, 逐年进行吸虫塔样本采集周期内的气象数据与当年诱捕量的多元线性回归分析; 根据试验需要, 将原始气象信息统计换算成作为模型自变量的区间气象数据, 对气象因子与吸虫塔诱捕量进行逐步回归分析。

1.6 数据处理

大豆蚜田间调查数据全部换算成日平均百株蚜量, 利用 Excel 和 SPSS for Windows 11.5 数据处理软件, 采用曲线相关分析验证并求得吸虫塔日均诱捕量 (X) 与田间大豆蚜日均百株蚜量 (Y) 的拟合回归方程; 采用多元线性回归中的逐步回归来判断和计算吸虫塔诱捕量与相关气象因子的回归方程, 并利用通径分析来计算出每个气象因子的标准回归系数。

2 结果与分析

2.1 吸虫塔诱捕迁飞大豆蚜量与大豆蚜田间百株蚜量关系分析

为更加直观的表现关键时间点和整体趋势, 图 1 中使用的田间调查数据是经过开三次方处理后的日均百株蚜量。由图 1 可见, 有两个试验年份吸虫塔俘获的迁飞大豆蚜始于 4 月下旬 (2010 年 4 月 29 日和 2014 年 4 月 22 日), 其余 4 个年份都始于 5 月 (2009 年 5 月 10 日, 2011 年 5 月 10 日, 2012 年 5 月 6 日和 2013 年 5 月 20 日); 而田间调查得知, 田间大豆蚜的始见期均在 5 月

中下旬至 6 月中旬之间, 明显滞后于吸虫塔的监测结果。因此, 利用吸虫塔对迁飞大豆蚜进行监测, 从理论上可以为大豆蚜由越冬寄主鼠李向夏寄主大豆幼苗迁移为害提供预警, 为田间大豆蚜的发生和种群迁移时序动态提供参考数据。

2009 年至 2014 年 6 个试验年份中, 每年吸虫塔诱捕的迁飞大豆蚜都有两个明显的高峰期, 其中首次高峰期均出现在 7 月份上旬, 按年份依次为 7 月 9 日、7 月 11 日、7 月 2 日、7 月 3 日、7 月 8 日、7 月 1 日; 第 2 个高峰均出现在 9 月中旬, 按年份依次为 9 月 17 日、9 月 16 日、9 月 13 日、9 月 17 日、9 月 16 日和 9 月 16 日。通过田间调查数据得知, 大豆蚜日均百株蚜量高峰期出现在 7—8 月间, 高峰日期按年份依次为 7 月 23 日、7 月 26 日、7 月 13 日、7 月 15 日、7 月 23 日和 7 月 14 日, 晚于同年度吸虫塔诱捕的首次高峰期 11~15 d。

每年的 5 月中下旬大豆蚜在越冬寄主鼠李开花前后发生有翅蚜 (迁移蚜), 从鼠李迁飞到大豆幼苗上为害 (时间点对应于吸虫塔诱捕大豆蚜始见期), 6—7 月份在田间大豆植株扩大蔓延, 造成点片为害 (时间点对应于吸虫塔首次诱捕高峰期和田间调查蚜量高峰期), 8 月末—9 月初开始产生有翅性母蚜迁飞回越冬寄主鼠李上 (时间点对应于吸虫塔第 2 次诱捕高峰期)。试验可见, 吸虫塔监测与田间调查的结果与大豆蚜的生活习性非常吻合。

由表 1 可以看出, 在试验的 6 个年份中吸虫塔日均吸捕量与田间日均百株蚜量在 $\alpha=0.05$ 水平上均显著相关, 拟合优度较高, 决定系数 (R^2) 都在 0.690 以上, 其中 2012 年的决定系数达到 0.955。说明吸虫塔诱捕的迁飞大豆蚜与田间为害的大豆蚜在种群数量上存在显著的相关性, 进而结合大豆蚜田间发生相比吸虫塔诱捕在时间上有滞后的特点, 使吸虫塔可以成为大豆蚜为害的预测预报有效手段。

2.2 逐年分析气象因子对吸虫塔吸捕量的影响

依据 2009—2014 年吸虫塔诱捕迁飞大豆蚜的虫情和气象资料, 通过多元线性逐步回归分析, 筛选对大豆蚜迁飞影响显著的气象因子, 逐年建立吸虫塔诱捕迁飞大豆蚜蚜量 (Y) 与日均

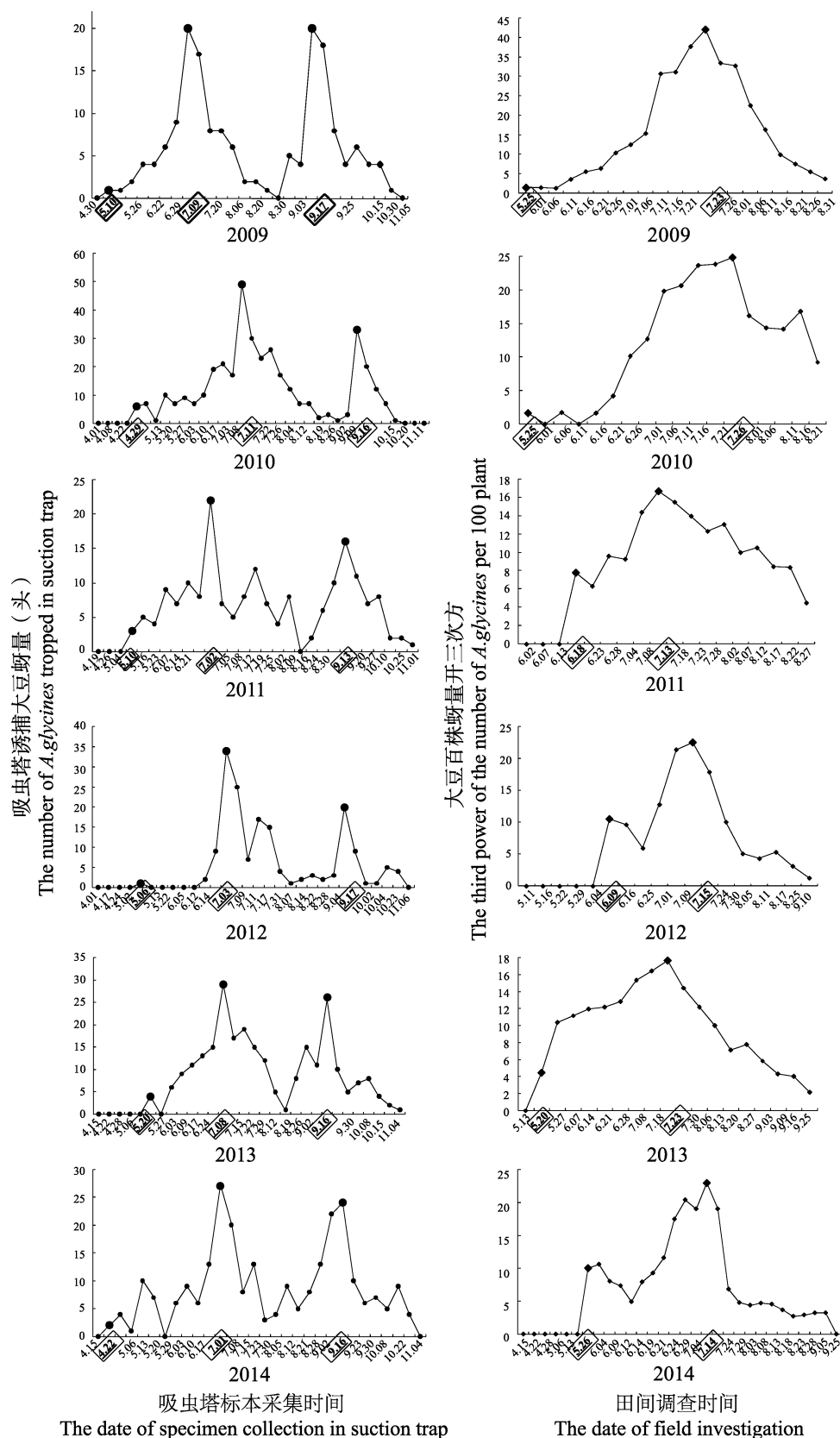


图 1 试验年份吸虫塔诱捕大豆蚜量与田间调查大豆蚜百株蚜量(开三次方)对比图
 Fig. 1 The collections of alate *Aphis glycines* in suction trap and the third power of the number of *Aphis glycines* per 100 plants in the fields every year

降雨量(X_1)、日均气温(X_2)、日均相对湿度(X_3)、日均风速(X_4)、日均最高气温(X_5)、日均最低气温(X_6)的逐步回归模型。经检验,6 年回归方程的最大判定系数(R^2)为 0.849,最小判定系数为 0.604,说明该模型线性回归的拟合程度较高;显著性水平(P 值)均为 0,说明被引入方程的自变量(气象因子)对因变量(诱捕量)的影响有极显著差异。由表 2 所示的回归方程所见,所有年份的逐步回归过程中日均降雨量(X_1)、日均气温(X_2)、日均最低气温(X_6)3 个自变量均被引入,说明这 3 个气象因子与吸虫塔诱捕量(Y)在 $\alpha=0.05$ 水平上具有显著的线性相关性,是显著影响诱捕量的气象因素;日均相对湿度(X_3)和日均风速(X_4)也都表现出显著的线性相关性,均有 4 次被引入到拟合方程中。

将气象因子运用膨化相关法计算得出标准

相关系数(表 3),结果表明,各年份中日均气温(X_2)的相关系数(绝对值)均为最高,其次为日均降雨量(X_1),即 $|R_{X_2}| > |R_{X_1}| > (|R_{X_3}|、|R_{X_4}|、|R_{X_5}|、|R_{X_6}|)$,说明温度和降水是影响大豆蚜有翅蚜迁飞的重要气象因素。此外,日均最低气温(X_6)的相关系数(绝对值)除在 2010 年($|R_{X_6}| = 0.372 < |R_{X_3}| = 0.449$)以外的其余 5 个年份中均大于其他因子,位居第 3;日均相对湿度(X_3)除在 2009、2013 年($|R_{X_3}| = 0.308 < |R_{X_4}| = 0.336、|R_{X_3}| = 0.296 < |R_{X_4}| = 0.411$)以外的其余 4 个年份均大于日均风速(X_4)和日均最高气温(X_5);日均最高气温(X_5)的相关系数(绝对值)总是最小的。由此说明日温中的最低值表现出显著相关性,而相比日均相对湿度和日均风速,日最高气温则与大豆蚜有翅蚜的迁飞关系不密切。

表 1 吸虫塔大豆蚜有翅成蚜诱捕量与田间有翅成蚜百株蚜量拟合回归方程
Table 1 Fitted regression equations between collection of alate aphids of *Aphis glycines* in suction trap and the number of winged aphid per 100 plants

年 Year	拟合回归方程 The fitted regression equation	R 值 R -value	R^2 R square	F 值 F -value	P 值 P -value
2009	$Y = -4\,287.6 + 22\,870.4X - 21\,226X^2 + 5\,593.49X^3$	0.842**	0.709	17.88	0.000
2010	$Y = -52.277 + 109.517X + 115.361X^2 - 10.202X^3$	0.904**	0.817	40.06	0.000
2011	$Y = -214.939 + 547.975X - 432.641X^2 + 157.557X^3$	0.851**	0.725	8.80	0.004
2012	$Y = 42.7949 - 28.527X + 151.157X^2 - 5.8X^3$	0.977**	0.955	199.43	0.000
2013	$Y = 223.405 - 109.217X + 47.8151X^2 - 1.9383X^3$	0.834**	0.696	10.70	0.001
2014	$Y = 114.919 - 467.47X + 461.343X^2 - 49.131X^3$	0.831**	0.691	26.05	0.000

** 表示 0.01 水平显著。表 2 同。
** means correlation index R is significant at $\alpha=0.01$. The same with Table 2.

表 2 吸虫塔大豆蚜有翅蚜吸捕量与田间大豆蚜百株蚜量逐年拟合回归方程
Table 2 Yearly fitted regression equation between collections of alate aphids of *Aphis glycines* in suction trap and the number of aphid per 100 plants in field

年 Year	拟合回归方程 The fitted regression equation	R 值 R -value	R^2 R square	自由度 Degrees of freedom	F 值 F -value	P 值 P -value
2009	$Y = 1.064 - 0.033X_1 + 0.066X_2 - 0.117X_4 + 0.086X_6$	0.918**	0.842	31	27.612	0.000
2010	$Y = -2.379 - 0.082X_1 + 0.074X_2 - 0.061X_3 - 0.113X_4 + 0.270X_6$	0.838**	0.702	35	13.717	0.000
2011	$Y = -4.950 - 0.079X_1 + 0.454X_2 - 0.207X_3 + 0.287X_6$	0.888**	0.789	22	13.713	0.000
2012	$Y = -5.630 - 0.077X_1 + 0.037X_2 - 0.074X_3 - 0.232X_4 + 0.245X_6$	0.777**	0.604	32	8.142	0.000
2013	$Y = -0.865 - 0.028X_1 + 0.123X_2 - 0.360X_4 - 0.169X_6$	0.921**	0.849	27	25.241	0.000
2014	$Y = -3.107 - 0.046X_1 + 0.149X_2 - 0.004X_3 + 0.100X_6$	0.808**	0.652	45	14.059	0.000

表 3 逐年各气象因子与吸虫塔吸捕量的标准相关系数
Table 3 The yearly standardized correlation coefficient of the meteorological factors and collections of *Aphis glycines* in suction trap

年份 Year	气象因子 Meteorological factor	日均降雨量	日均气温	日均 相对湿度	日均风速	日均 最高气温	日均 最低气温
		Average daily rainfall	Average daily temperature	Average daily relative humidity	Average daily velocity	Average daily maximum temperature	Average daily minimum temperature
2009		- 0.752**	0.833**	-0.308	-0.336	0.290	0.497
2010		- 0.842**	1.221**	- 0.449	- 0.253	- 0.162	0.372
2011		- 1.343**	1.902**	- 0.541*	0.389	- 0.114	0.847**
2012		- 0.956**	1.126**	- 0.633**	- 0.337	0.059	0.719**
2013		- 0.737**	0.955**	- 0.296	- 0.411	0.217	0.449
2014		- 0.859**	0.952**	- 0.577*	0.202	- 0.116	0.668**

*表示 0.05 水平显著, **表示 0.01 水平显著。

“*” means correlation index R is significant at $\alpha=0.05$, “**” means correlation index R is significant at $\alpha=0.01$.

2.3 整体分析气象因子对吸虫塔诱捕量的影响

由吸虫塔监测到的大豆蚜有翅蚜每年有两次迁飞高峰,呈双峰曲线;而通过气象因子对诱捕量影响的逐年分析发现温度和降水是影响大豆蚜有翅蚜迁飞的重要气象因素。在此基础上,为能更好的探寻关键时间区间内具体气象条件的影响,共选取 16 个气象因子,分别为前一年冬季极端最低气温(X_1)、4—6 月最高气温(X_2)、4—6 月最低气温(X_3)、4—6 月均温(X_4)、4—6 月降雨量(X_5)、4—6 月雨日(X_6)、6—7 月最高气温(X_7)、6—7 月最低气温(X_8)、6—7 月均温(X_9)、6—7 月降雨量(X_{10})、6—7 月雨日(X_{11})、9 月最高气温(X_{12})、9 月最低气温(X_{13})、9 月均温(X_{14})、9 月降雨量(X_{15})、9 月雨日(X_{16})。通过逐步回归分析,筛选出对吸虫塔年诱捕迁飞大豆蚜量(Y)影响显著的因子,从而建立总回归模型,如下: $Y=7.9251+0.3499X_1+0.0458X_4+0.0079X_8-0.0896X_{10}+0.0316X_{14}-0.1497X_{16}$ ($F=14.583$, $R=0.729$, $P=0.001$),

由回归方程可以看出,吸虫塔对迁飞大豆蚜的年诱捕量与前一年冬季极端最低气温(X_1)、4—6 月均温(X_4)、6—7 月最低气温(X_8)和 9 月均温(X_{14})呈显著正相关,而与 6—7 月降雨量(X_{10})和 9 月雨日(X_{16})呈显著负相关。

大豆蚜是迁飞型害虫,以受精卵在原生寄主

鼠李上越冬,如果冬季出现极端低温天气(X_1),可能导致越冬卵孵化率降低,从而影响第二年大豆蚜的种群存活率;每年春季,干母取食萌芽的鼠李,在鼠李开花前后,平均气温达 10℃时,发生有翅雌蚜,羽化后的成蚜迁飞到大豆幼苗为害,即为吸虫塔监测到的大豆蚜的始见期(4—6 月),这个时期的均温(X_4)显著影响迁飞大豆蚜的种群数量;6 月末至 7 月中旬是大豆蚜的盛发期,这期间如果出现较极端的低温(X_8)将不利于大豆蚜在田间的种群扩散和点片发生,导致首次迁飞高峰延缓或缩量;进入 6 月,降雨量(X_{10})明显增多,雨水的冲刷导致大豆蚜种群数量逐渐消退;9 月初,随着气温的回落、寄主植株的老化,大豆蚜产生有翅性母蚜回迁至鼠李,即为吸虫塔监测到的大豆蚜二次迁飞高峰,这个时期的均温(X_{14})和降雨情况(X_{16})显著影响二次高峰期的迁飞虫量。

3 讨论

通过连续 6 年的吸虫塔大豆蚜迁飞的监测工作,同时结合了田间消长动态调查,比较清晰的掌握了大豆蚜的迁飞习性,也准确记录了大豆蚜在田间三个主要生活阶段:每年诱捕量的前后双峰曲线,精确拟合了田间早期点片发生阶段(大豆蚜由冬寄主向夏寄主迁移为害大豆)和田

间蚜量消退期(即大豆蚜由夏寄主回迁至冬寄主越冬),而大豆蚜田间扩散蔓延的盛发期则与双峰之间的低谷相吻合。

本研究发现,试验进行的各年份中,吸虫塔诱捕的迁飞大豆蚜量不仅与田间调查为害蚜量具有显著的相关性,而且,吸虫塔监测到的大豆蚜的始见期和诱捕高峰期均先于田间始见期和蚜量发生的高峰期,这也与已有吸虫塔对荻草谷网蚜 *Sitobion miscanthi* (Takahashi)、麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* (Rondani)、禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* (L.)、麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 的诱捕规律结论相一致(蒋月丽等,2011;杜光青等,2014;时新瑞等,2014;王爽等,2014),因此,吸虫塔蚜虫预警网络所获得的数据可以作为蚜虫发生为害预警的重要依据,为早期制定和布控防治措施提供数据支持。

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,尤其蚜虫个体小,迁飞能力不强,因此环境因子对其迁飞行为影响相对较大。本研究在逐年分析了主要气象因素对吸虫塔诱捕量的相关影响后,再次印证了温度和降水是最重要因素,并在此基础上结合吸虫塔诱捕周期的特点,筛选得到了与之具有显著相关性的气象因子,为吸虫塔能够充分、及时、准确的发挥预警功能提供必要的生态学理论依据。

吸虫塔作为一种监测小型迁飞性昆虫时空动态的植保设备,与飞机航捕、昆虫雷达测报等方法相比,具有操作简单、方便易行、成本低效率高的特点,可长期用于迁飞性害虫种群的监控和生态学研究。经过吸虫塔设备采集到的样本种类庞杂、数量繁多,蕴含巨大信息数据量,所以为了吸虫塔的规模化、网络化预警系统的构建,更好的为农业绿色防控服务,需要结合大量的相关物候资料,从中挖掘更多物种的生物学及生态学规律,也是一个需要长期开展的研究方向。

参考文献(References)

Anderson M, Bromley AK, 1987. Sensory system//Minds AK, Harrewijn P(eds.). *Aphids Their Biology, Natural Enemy and Control*. Elsevier, Amsterdam. 153–162.

- Dai CC, Zhao KJ, Chi DF, Zhang CY, 2014. Analysis of population dynamics of *Aphis glycines* and its' natural enemies in Northeast China. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 42(18): 5796–5798. [戴长春, 赵奎军, 迟德富, 张超宇, 2014. 东北地区大豆蚜及其天敌昆虫种群动态分析. 安徽农业科学, 42(18): 5796–5798.]
- Du GQ, Yin J, Cao YZ, Zhang S, Li KB, 2014. Factors that affect using suction traps to monitor the migration of *Sitobion avenae* (Fabricius). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1516–1523. [杜光青, 尹姣, 曹雅忠, 张帅, 李克斌, 2014. 吸虫塔对麦长管蚜迁飞监测的影响因素分析. 应用昆虫学报, 51(6): 1516–1523.]
- Jiang YL, Wu YQ, Duan Y, Miao J, Gong ZJ, Qiao GX, 2011. Research on the effectiveness of suction trapping insects and monitoring populations of wheat aphids. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1708–1714. [蒋月丽, 武予清, 段云, 苗进, 巩中军, 乔格侠, 2011. 吸虫塔诱捕的昆虫种类及对麦蚜的监测效果研究. 应用昆虫学报, 48(6): 1708–1714.]
- Goodenough JL, Jank PC, Carroll LE, Sterling WL, Redman EJ, Witz JA, 1983. Collecting and preserving airborne arthropods in liquid at timed intervals with a Johnson-Taylor-type suction trap. *J. Econ. Entomol.*, 76: 960–963.
- Huo R, 2011. The research of monitoring of aphid migration by suction tower. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [霍然, 2011. 吸虫塔对蚜虫迁飞监测的研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Johnson CG, 1950a. A suction trap for small airborne insects which automatically segregates the catch into successive hourly samples. *Annu. Appl. Biol.*, 37(1): 80–91.
- Johnson CG, 1950b. The comparison of suction trap, sticky trap and tow-net for the quantitative sample of small airborne insects. *Annu. Appl. Biol.*, 37: 268–285.
- Johnson CG, Taylor LR, 1955. The development of large suction traps for airborne insects. *Annu. Appl. Biol.*, 43: 51–62.
- Kimsey RB, Brittnacher JG, 1985. A simple electronic timer for animal-baited intermittent suction insect traps. *J. Amer. Mosquito Assoc.*, 1: 14–16.
- Li KB, Du GQ, Yin J, Zhang S, Cao YZ, 2014. Monitoring the migration of *Sitobion avenae* (Fabricius) by suction trapping. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1504–1515. [李克斌, 杜光青, 尹姣, 张帅, 曹雅忠, 2014. 利用吸虫塔对麦长管蚜迁飞活动的监测. 应用昆虫学报, 51(6): 1504–1515.]
- Liu J, Zhao KJ, 2007. Biology and control techniques of soybean aphid, *Aphis glycines*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(2): 179–185. [刘健, 赵奎军, 2007. 大豆蚜的生物学防治技术. 昆虫知识, 44(2): 179–185.]
- Miao L, Zheng JF, Cheng QQ, Jia ZL, Wang HT, Liang HB, Zhang

- H, Li X, Zhang JH, Jiang LY, Qin QL, Qiao GX, 2011. Construction of a preliminary network of suction traps to monitor the migration of alate aphids in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1874–1878. [苗麟, 郑建峰, 程清泉, 贾占录, 王红托, 梁红斌, 张寰, 李瑄, 张继红, 姜立云, 秦启联, 乔格侠, 2011. 基于吸虫塔(Suction trap)的蚜虫测报预警网络的扩建. 应用昆虫学报, 48(6): 1874–1878.]
- Qiao GX, Qin QL, Liang HB, Cao YZ, Xu GQ, Gao ZL, Xu WJ, Wu YQ, Li XJ, Zhao ZW, Cheng XY, 2011. A new aphid-monitoring network system based on suction trapping and development of “green techniques” for aphid management. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1596–1601. [乔格侠, 秦启联, 梁红斌, 曹雅忠, 许国庆, 高占林, 徐伟钧, 武予清, 李学军, 赵章武, 成新跃, 2011. 蚜虫新型预警网络的构建及其绿色防控技术研究. 应用昆虫学报, 48(6): 1596–1601.]
- Rhainds MS, Yoo HJ, Steffey KL, Voegtlin DJ, Sadof CS, Yaninek S, O’Neil RJ, 2010. Potential of suction traps as a monitoring tool for *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) in soybean fields. *J. Econ. Entomol.*, 103(1): 186–189.
- Shi XR, Zhao YT, Wang KQ, 2014. Migration quantitative dynamic of winged aphids in the suction trap monitor and its relationship with meteorological factors. *Soybean Science*, 33(6): 949–952. [时新瑞, 赵云彤, 王克勤, 2014. 吸虫塔监测中有翅蚜迁飞数量动态及其与气象因子的关系. 大豆科学, 33(6): 949–952.]
- Taubert S, Hertl F, 1985. A new portable battery-powered insect suction trap. *Mitteilungen Deut. Gesellschaft Allgemeiner. Angewandte Entomol.*, 4(6): 433–437.
- Van AH, Leoni MP, 1970. Some aspects of quantitative sampling of insect populations by means of suction traps. *Phytophylactica*, 2(2): 121–128.
- Wainhouse D, 1980. A portable suction trap for sampling small insects. *Bull. Entomol. Res.*, 70(3): 491–494.
- Wang S, Li XM, Liu CL, Yang F, Xia JX, Wang KQ, Liu XL, Shao TY, Xu WJ, 2014. Effectiveness of suction traps as a means of monitoring the population dynamics of alate aphids in Harbin and Suiling, Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 412–417. [王爽, 李新民, 刘春来, 杨帆, 夏吉星, 王克勤, 刘兴龙, 邵天玉, 徐伟钧, 2014. 黑龙江省哈尔滨地区吸虫塔有翅蚜种群动态. 应用昆虫学报, 51(2): 412–417.]