

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2015.01.004

瓜实蝇成虫在苦瓜田间的时空动态

李亚辉, 吴伟坚*

华南农业大学昆虫生态研究室, 广东 广州 510642

摘要:【背景】瓜实蝇是重要的瓜果害虫,研究其在田间的时空分布可为进一步探讨成虫在栖息地的迁移规律奠定基础。【方法】试验于2013年9月17日~11月8日在广州市白云区广东省农业科学院试验基地进行。试验地面积约6900 m²,其中,苦瓜地面积为34 m×19 m。以黄绿色粘板进行诱捕取样,点算粘板上瓜实蝇雌、雄成虫个体数,以地学统计学方法研究瓜实蝇成虫的时空分布动态。【结果】瓜实蝇成虫密度有2个峰,其半变异函数多为高斯模型,在调查范围内空间格局为聚集分布,变程范围为9.648~65.580 m,空间异质性是由空间自相关引起。【结论与意义】运用Kriging插值法,由软件Surfer 10.0绘制的密度等值线图清楚地反映出瓜实蝇成虫主要分布于苦瓜地内,呈现出瓜实蝇成虫被苦瓜吸引,并迅速繁殖及之后向瓜地外扩散的变动特征。

关键词: 瓜实蝇; 苦瓜; 地学统计学; 等值线图

Spatio-temporal dynamics of adult *Bactrocera cucurbitae*
(Diptera: Tephritidae) in bitter gourd field

Ya-hui LI, Wei-jian WU*

Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China

Abstract: 【Background】*Bactrocera cucurbitae* is an important pest of many fruits and vegetables. The spatio-temporal distribution of adult *B. cucurbitae* was investigated to explore the pattern of adults migrating back and forth between habitats. 【Method】The research was undertaken from 17 Sept. to 8 Nov. 2013, in an agricultural field (6900 m²) planted with bitter gourd (34 m×19 m) at the experimental farm of the Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Baiyun District, Guangzhou. The activity of adult *B. cucurbitae* was monitored using green sticky traps. Geostatistical methods were used to characterize the spatio-temporal distribution of adults. 【Result】There were two peaks of adults. Semivariograms could be described by a Gaussian model. Spatial patterns were aggregate in the investigated site. The range of spatial correlation was from 9.648 m to 65.580 m, with a high degree of spatical auto-correlation. 【Conclusion and signifinace】The isoline maps created by the geostastical software surfer 10.0 with Kriging interpolation clearly reflected that adult *B. cucurbitae* were primarily concentrated inside the bitter gourd field. Only after reaching high densities did adults spread beyond the bitter gourd field.

Key words: *Bactrocera cucurbitae*; bitter gourd; geostatistics; isolines map

地学统计学最早应用于矿业领域,近10年来在昆虫生态学领域的应用也日渐频繁(侯景儒和黄竞先,1990; Liebhold *et al.*, 1993)。有别于传统统计学以随机变量理论为基础,忽略样本位置和地理差异,地学统计学以区域化变量理论为基础,以变异函数为主要工具,研究那些在空间上既有随机性又有结构性的自然现象(王政权,1999)。其估计出的量一般比经典方法更精确,避免了系统误差,在生态学空间异质性与格局的分析中起到了重要作

用(周强等,1998; Legendre & Fortin, 1989)。

瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett), 隶属于双翅目实蝇科,主要为害葫芦科和茄科植物,如甜瓜、南瓜、辣椒、苦瓜、西瓜、无花果、番石榴、桃、菜豆和番茄等(Nishida & Bess, 1950)。在非洲、亚洲、大洋洲、北美洲都有分布,我国多分布于江苏、福建、海南、广东、广西、贵州、云南、四川、湖南、台湾等地(张全胜,2002; Dhillon *et al.*, 2005)。广州市于1987年发现此虫,1989年夏季在石牌首次发

收稿日期(Received): 2014-12-20 接受日期(Accepted): 2015-01-13
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103026-4); 广东省科技计划项目(2012A020602034)
作者简介: 李亚辉,男,硕士研究生。研究方向: 昆虫生态学。E-mail: 550991295@qq.com
* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: weijwu@scau.edu.cn

现其为害丝瓜蔓,造成虫瘿,无法结果(梁广勤等,1989)。1989~1992 年广州地区瓜实蝇在果树蔬菜混合布局的生境和局部地区大面积生产瓜菜的生境中密度最高,苦瓜受害最严重(陈海东,1995)。陈群航等(2011)曾采用雄虫引诱剂诱集,以经典生物统计学方法研究瓜实蝇雄成虫在苦瓜上的空间分布。Xue *et al.* (2013) 指出,波长为 540 nm 的黄绿色粘板对瓜实蝇成虫诱性最佳,粘板悬挂适宜高度为色板下端距地面 65~95 cm,悬挂方向可随机选择。因此,本文拟以能同时诱捕瓜实蝇雌、雄成虫的黄绿色粘板取样,应用地学统计学方法探讨苦瓜地瓜实蝇成虫的时空格局,进一步探明该虫进出苦瓜地的规律,为制订合理的防治对策提供依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

2013 年 9 月 17 日~11 月 8 日,在广州市白云

区广东省农业科学院试验基地内未喷农药的苦瓜地及其周边区域构成的异质生境中进行调查,苦瓜地面积为 34 m×19 m,东西行,共 10 行,行间距约 1.75 m。瓜地周边水稻 1811 m²,杂草 1020 m²,混合果树林 816 m²,花生 870 m²,其他作物 1740 m²,混合果树林由香蕉、番木瓜、荔枝构成,其中香蕉和番木瓜处在挂果期(香蕉和番木瓜挂果期 9~11 月,苦瓜挂果期 9 月 23 日~10 月 15 日)。以长 40 cm×宽 35 cm 的双面黄绿色粘板进行诱捕取样,粘板用竹竿支撑,置于粘板下端距离地面 80 cm 处,方向为东西向,板面于苦瓜地行平行,于上午挂板 30 块,次日上午更换,并统计换下粘板上瓜实蝇雌、雄成虫个体数,共调查 12 次。采样点综合考量各作物面积、方向和粘板悬挂及收取难度(图 1)。

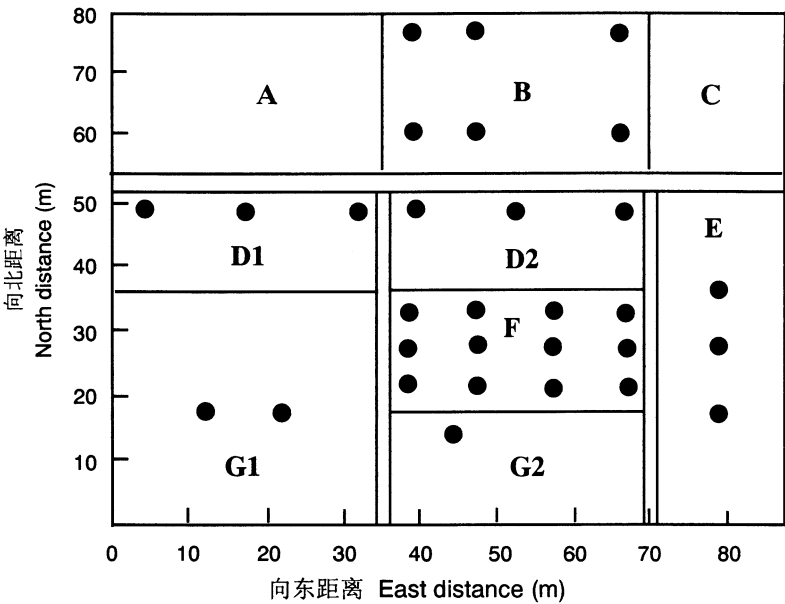


图 1 试验地生境和样点位置的分布

Fig.1 Distribution of landscape elements and traps location at the experimental site
●黄绿色粘板放置点。A.杂物;B.果树;C.水泥路;D.杂草;E.花生;F.苦瓜;G.水稻。
●Trap location in the field is shown by spots. A.Clutter; B.Fruit tree; C.Road; D.Weed; E.Peanut field; F.Bitter gourd field; G.Rice field.

1.2 分析方法

1.2.1 半方差函数 半方差函数是应用地学统计学方法分析空间相关和空间结构时的主要工具。其计算公式如下:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum [Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2$$

$\gamma(h)$ 表示间隔距离为 h 的区域化变量 $Z(x)$ 和

$Z(x+h)$ 的增量平方的数学期望,即区域化变量的方差。 $\gamma(h)$ 为半方差函数值, $N(h)$ 为间隔 h 的数据对的数量, h 是域化变量 $Z(x)$ 和 $Z(x+h)$ 之间的距离(王政权,1999)。

半方差函数曲线图是半方差函数 $\gamma(h)$ 对距离 h 的坐标图形,通过函数曲线图可以得到 3 个极为重要的参数,即基台值(sill)、变程(range)、块金值

(nugget)(白世彪等,2012)。其中,基台值指当半方差函数 $\gamma(h)$ 随着延迟 h 的增大,从非零值达到一个相对稳定的常数,曲线呈水平方向,该常数称为基台值(C_0+C);变程指当半变异函数的取值从初始的金块值达到基台值时,采样点的间隔距离(a);块金值指当 $h=0$ 时, $\gamma(h)$ 出现的正值 C_0 ,它是观测误差和距离很小的情况下的空间变化组合。

根据半变异函数的概念,变量 Z 的空间异质性可分解成2个部分(Trangmar *et al.*, 1985),即:

$$SH(Z)=SH_A(\text{自相关部分})+SH_R(\text{随机部分})$$

金块值与基台值之比 C_0/C_0+C 对反映金块值占总空间异质性 $SH(Z)$ 变异的大小非常有意义(Li & Reynolds, 1995; Robertson, 1987)。如果比值高,表明随机部分引起的空间异质程度 SH_R 起主要作用,相反异质性则由空间自相关引起;如果比值接近1,则所研究的变量在整个尺度上具有恒定变异。此外,金块值(C_0)表示随机部分的空间异质性,较大金块值表示较小尺度上的某种过程不可忽视;基台值(C_0+C)表示系统属性或区域化变量的最大变异,值越大总的空间异质性程度越高(Trangmar *et al.*, 1985)。本文利用GS+9.0软件处理数据,软件会自动选择最优模型并得到模型参数及半方差函

数图。通常,球状模型、指数模型、高斯模型和抛物模型的半方差函数表明的数据是聚集的(王正军等,2002)。

1.2.2 地学统计学的插值方法 Kriging 插值法是对空间分布的数据求线性最优无偏内插估计量的一种方法(王政权, 1999)。它既能对特定样点估值,也能对整个研究区域空间分布进行模拟,从宏观上对种群动态和发生趋势进行分析(王正军等, 2002)。本文利用 Kriging 插值法并运用地学统计学软件 Surfer 10.0 绘制瓜实蝇成虫的密度等值线图。

2 结果与分析

2.1 苦瓜地瓜实蝇成虫数量的时间动态

共捕获瓜实蝇成虫 3808 头(雄虫 1873 头、雌虫 1935 头),苦瓜地内捕获 3605 头(雄虫 1783 头,雌虫 1822 头),雌虫均较雄虫略多。

苦瓜地内捕获的瓜实蝇成虫虫口密度呈双峰型增长。瓜实蝇成虫总数在 10 月 11 日和 10 月 25 日分别出现 2 次峰值,且第 2 个峰值远大于第 1 个峰值。在试验早期和末期瓜实蝇成虫虫口密度均稳定处于较低水平(图 2)。

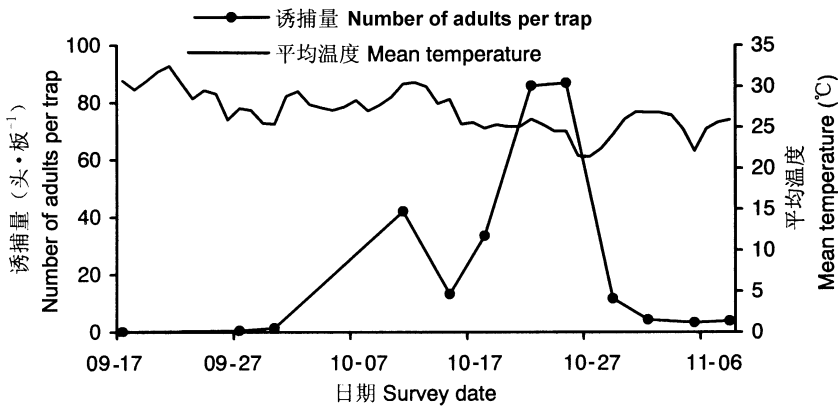


图 2 苦瓜地瓜实蝇成虫数量动态和日平均温度

Fig.2 Numbers of adult *B.cucurbitae* captured by chartreuse trap cards and mean temperature in the studied bitter gourd field (continuous line, right vertical axis)

2.2 瓜实蝇成虫的空间半变异函数

由表 1 可知,整个试验历期内瓜实蝇成虫在异质生境下均为聚集分布,且仅 10 月 18 日和 10 月 22 日的半变异函数以指数模型拟合,其余均可用高斯模型拟合。其变程 a 的范围为 9.648~65.580 m,并以指数模型时期变程为最大,且明显大于其他时期。

结合图 1 与表 1 可知,反映空间变异范围大小的基台值 C_0+C 与苦瓜地瓜实蝇成虫种群密度的变动趋势基本相似,同样具有 2 个峰值,第 1 个峰值在 10 月 11 日,第 2 个峰值在 10 月 22 日,且第 2 个峰值明显大于第 1 个峰值。各时期空间变异的随机程度 $C_0/(C_0+C)$ 均远小于 0.25,属于强烈空间自相关。

表 1 瓜实蝇成虫的半变异函数模型参数
Table 1 Models parameters and spatial patterns of adult *B.cucurbitae*

日期(月-日) Date (month-day)	块金值 Nugget (C_0)	基台值 Sill (C_0+C)	变程(a) Range (a) (m)	随机程度 Random degree [$C_0/(C_0+C)$]	模型 Model	空间格局 Spatial pattern	半变异函数 Semivariogram
09-17	0.0001	0.0424	9.648	0.0024	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.0001+0.0423[1-e(-h^2/5.57^2)]$
09-27	0.0010	0.2122	10.652	0.0005	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.0010+0.2122[1-e(-h^2/6.15^2)]$
09-30	1.0000	1.1370	12.436	0.0009	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=1.0000+1.1370[1-e(-h^2/7.18^2)]$
10-11	0.1000	646.3000	14.497	0.0015	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.1000+646.3000[1-e(-h^2/8.37^2)]$
10-15	1.0000	58.7700	13.389	0.0017	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=1.0000+58.7700[1-e(-h^2/7.73^2)]$
10-18	10.0000	578.1000	54.510	0.0017	指数模型 Exponential model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=10.000+57828.1000[1-e(-h/18.5^2)]$
10-22	1.0000	3429.0000	65.580	0.0029	指数模型 Exponential model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=1.0000+3419.0000[1-e(-h/21.86^2)]$
10-25	0.1000	2612.0000	20.196	0.0004	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.1000+2612.0000[1-e(-h^2/11.65^2)]$
10-29	0.0100	156.7000	14.653	0.0006	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.0100+156.7000[1-e(-h^2/8.46^2)]$
11-01	0.0100	7.4000	11.137	0.0014	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.0100+7.4000[1-e(-h^2/6.43^2)]$
11-05	0.0100	6.7900	13.943	0.0015	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.0100+6.7900[1-e(-h^2/8.05^2)]$
11-08	0.0100	9.2000	12.523	0.0011	高斯模型 Gaussian model	聚集 Aggregation	$\gamma(h)=0.0100+9.2000[1-e(-h^2/7.23^2)]$

2.3 瓜实蝇成虫种群的空间分布

如图 3 所示,调查初期 9 月 17 日~9 月 30 日,种群密度变动不明显,但斑块大小逐渐加大,表明瓜实蝇成虫在试验区域内的分布面积变大。10 月 11 日种群斑块较前 3 次种群斑块有明显的增大,密度也明显增大,并在苦瓜地内部有 2 个聚集斑块,分别位于瓜地内左下与右下方,左边密度大于右边,种群在瓜地外分布面积扩大但密度较低。10 月 15 日,瓜地内种群密度降低,高密度斑块缩小,瓜地外斑块变小,密度仍旧处于较低水平。10 月 18 日瓜地内密度上升,高密度斑块扩大,瓜地外状况变化不大。10 月 22 日种群密度明显上升,瓜地内高密度种群斑块扩大,在左下与右下方重新出现 2 个高密度斑块。10 月 25 日 2 个斑块融为 1 个斑块,位于苦瓜地右下方,且此时种群密度最大,单一色板的最大捕获值为 165 头。10 月 29 日种群密度锐减,进入 11 月瓜地内外种群均处于低密度。

等值线图呈现出瓜实蝇成虫于 9 月 30 日~10 月 11 日在苦瓜地内数量较高,10 月 15 日种群密度

骤降,第 2 个高峰出现在 10 月 18 日~10 月 25 日,之后成虫数量逐渐下降,这反映了瓜实蝇被瓜地的苦瓜吸引,在瓜地内迅速繁殖及之后向瓜地外扩散的变动特征。

3 讨论

匡石滋等(2009)用黄色粘虫板对橘园内的橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 成虫进行诱杀采用的间距是 2 m×5 m;Park *et al.* (2001)采用黄板评估温室黄瓜的蚜虫 *Aphis gossypii* (Glover)密度时板间距约为 3 m×4 m;Karut & Kazak (2007)对蒙氏桨角蚜小蜂 *Eretmocerus mundus* (Mercet)、烟粉虱寄生蜂 *Encarsia lutea* (Masi)和烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)成虫种群进行检查,黄色粘虫板设置为 6 m×8 m。可见,颜色粘虫板对昆虫引诱距离较短。本研究中黄绿色粘板最小设置间隔为 5 m×10 m,应能真实反映瓜实蝇成虫的分布情况,且在小尺度的异质生境中,能避免将其他生境的实蝇引诱过来。

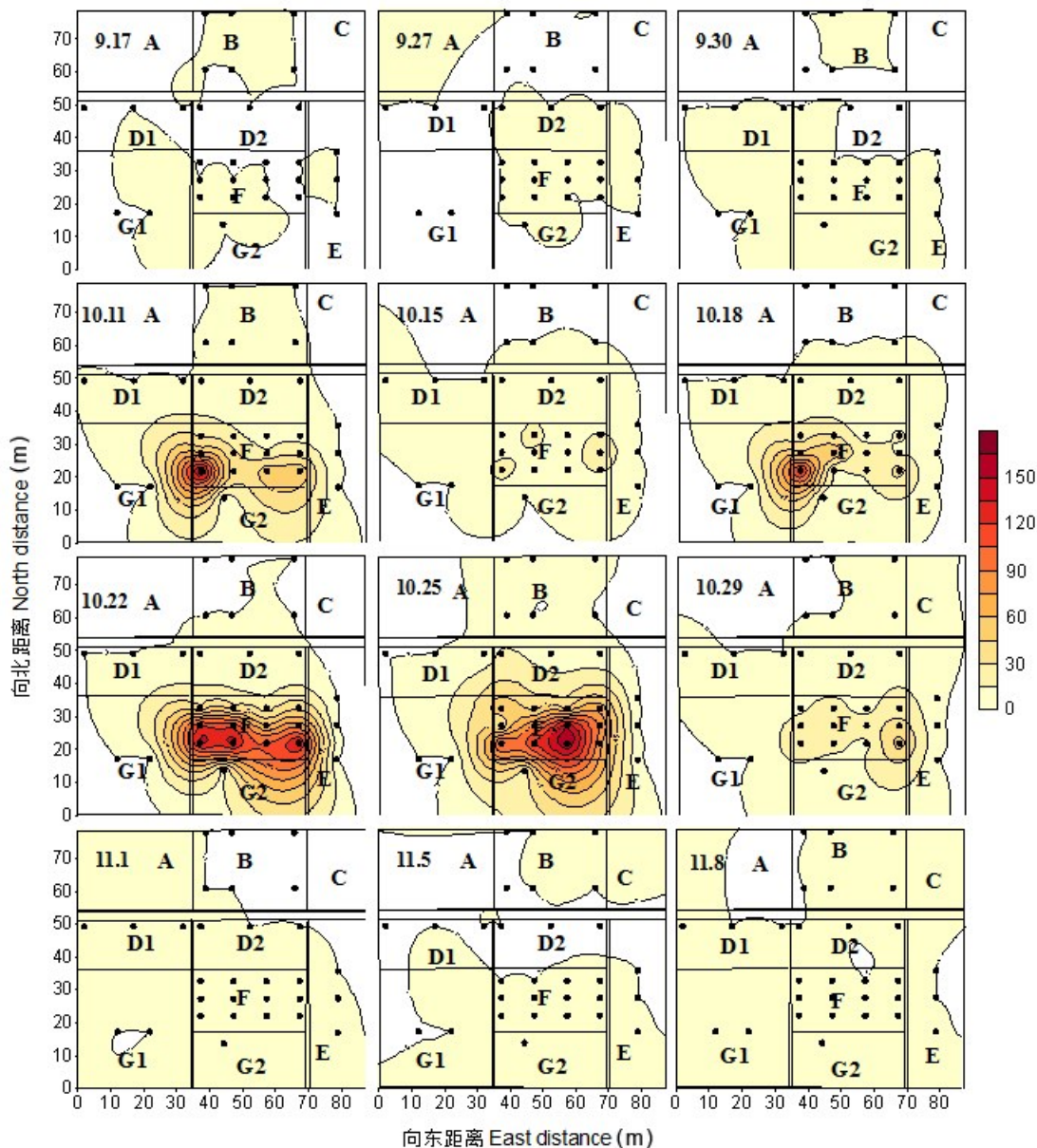


图 3 9 月 17 日~11 月 8 日瓜实蝇成虫空间分布的等值线图 (广州,2013)

Fig.3 Contour map of adult *B.cucurbitae* distribution obtained by Surfer 10.0 from 17 Sept. to 8 Nov., 2013
A.杂物;B.果树;C.水泥路;D.杂草;E.花生;F.苦瓜;G.水稻。
A.Clutter; B.Fruit tree; C.Road; D.Weed; E.Peanut field; F.Bitter gourd field; G.Rice field.

瓜实蝇在 15~30℃可正常发育,25~30℃为该虫最适生长发育温度范围(韦淑丹等,2011)。本研究调查期内的平均气温为 26.9℃,变化范围在 21.1~32.5℃,这处于瓜实蝇的适宜温度范围。由图 2 可知,调查期内温度并非影响瓜实蝇成虫种群动态的主要因子,可能是寄主植物的生长节律影响了瓜实蝇成虫种群动态。

生境的异质性在自然界普遍存在,是农业景观的重要特征之一。研究瓜实蝇成虫在异质生境中的时空动态,更符合实际生产的环境特征。等值线图能直观地显示该种群的密度变化和聚集斑块的

大小(王凤花等,2006)。本研究的异质生境中有多种作物,在果树区域内虽然香蕉和番木瓜都是瓜实蝇的寄主植物,且整个试验历期都有挂果,但瓜实蝇成虫仍主要分布在苦瓜地,在其他区域的分布均处于较低水平。可见,苦瓜是瓜实蝇的主要寄主。

等值线图直观地反映了 10 月 11 日因苦瓜结果而吸引瓜地外瓜实蝇聚集形成第 1 个峰;当代成虫完成繁殖后死亡,且这时苦瓜已是挂果末期,对瓜地外的成虫吸引力下降,致使 10 月 11 日后瓜实蝇成虫数量骤降;之后因瓜实蝇在苦瓜地繁殖,10 月 25 日出现了第 2 个峰。因此,第 2 个峰的密度

显著大于第 1 个峰。可见,等值线图呈现出了瓜实蝇成虫被苦瓜吸引,在瓜地内迅速繁殖及之后向瓜地外扩散的变动特征。有关瓜实蝇迁入的虫源和迁离的去向有待进一步研究。

参考文献

白世彪, 王建, 常直杨. 2012. Surfer10 地学计算机制图. 北京: 科学出版社.

陈海东, 梁广勤, 杨平均. 1995. 瓜实蝇、桔小实蝇、南瓜实蝇在广州地区的种群动态. 植物保护学报, 22(4): 348-354.

陈群航, 陈仁, 陈松光. 2011. 瓜实蝇在苦瓜上的空间分布调查研究. 现代农业科技, (7): 143-144.

侯景儒, 黄竞先. 1990. 地质统计学的理论与方法. 北京: 地质出版社.

梁广勤, 章士美, 徐伟. 1989. 我国南方部分地区实蝇记述及 2 种中国新记录. 江西农业大学学报, 11(3): 14-20.

匡石滋, 田世尧, 曾杨, 潘建平, 林志雄, 邱继水. 2009. 黄板诱杀技术在防治桔小实蝇成虫中的应用研究. 广东农业科学, (10): 105-106.

王凤花, 张淑娟, 高丽红. 2006. 基于 Surfer 软件的田间信息制图与分析. 山西农业大学学报: 自然科学版, 26(1): 88-90.

王正军, 李典谟, 商晗武, 程家安. 2002. 地质统计学理论与方法及其在昆虫生态学中的应用. 昆虫知识, 39(6): 405-411.

王政权. 1999. 地统计学及其在生态学上的应用. 北京: 科学出版社.

韦淑丹, 黄树生, 王玉群, 曾东强, 凌炎. 2011. 温度对瓜实蝇实验种群生长发育及生殖的影响研究. 南方农业学报, 42(7): 744-747.

张全胜. 2002. 瓜实蝇生物学特性观察及其防治建议. 植保技术与推广, 22(3): 14.

周强, 张润杰, 古德祥. 1998. 地质统计学在昆虫种群空间

结构研究中的应用概述. 动物学研究, 19(6): 482-488.

Dhillon M K, Singh R, Naresh J S and Sharma H C. 2005. The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: a review of its biology and management. *Journal of Insect Science*, 5: 1-16.

Karut K and Kazak C. 2007. Monitoring adult *Eretmocerus mundus*, *Encarsia lutea* and *Bemisia tabaci* with yellow sticky traps in cotton *Gossypium hirsutum*. *Journal of Applied Entomology*, 131: 553-558.

Legendre P and Fortin M J. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetation*, 80: 107-138.

Li H and Reynolds J F. 1995. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 73: 280-284.

Liebholt A M, Rossi R E and Kemp W P. 1993. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, 38: 303-327.

Nishida T and Bess H A. 1950. Applied ecology in melon fly control. *Journal of Economic Entomology*, 43: 877-883.

Park J J, Kim J K, Park H S and Cho K J. 2001. Development of time-efficient method for estimating aphids density using yellow sticky traps in cucumber greenhouses. *Asia-Pacific Entomology*, 4: 143-148.

Robertson G P. 1987. Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. *Ecology*, 68: 744-748.

Trangmar B B, Yost R S and Uehara G. 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advanced Agronomy*, 38: 44-94.

Xue H W and Wu W J. 2013. Preferences of *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) to different colors: a quantitative investigation using virtual wavelength. *Acta Entomologica Sinica*, 56: 161-166.

(责任编辑:杨郁霞)

