

# 云南六库桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析

陈鹏<sup>1,2</sup>, 叶辉<sup>1,\*</sup>

(1. 云南大学生命科学学院生物系, 昆明 650091; 2. 云南省林业科学院, 昆明 650204)

**摘要:**应用诱蝇谜引诱剂诱捕法于2003–2005年调查了云南六库桔小实蝇成虫种群动态,系统分析了气候因子及寄主植物对该种群变动的影响。研究表明:云南六库桔小实蝇种群发生呈季节性,仅出现于3–12月,成虫消长基本为单峰型,高峰出现在7月。六库桔小实蝇种群数量与气温、降雨量和月雨日数等气象因子有密切关系。决定系数和通径分析结果显示,月降雨量是影响六库桔小实蝇种群动态的主要决策因素;月平均气温和月平均最低气温是影响种群数量变动的主要限制因素,其中,月平均最低温度是间接影响种群数量变动的重要指标。主成分分析筛选出低温条件主成分,其累积方差贡献率达77.65%。逐步回归分析也证实,影响六库桔小实蝇种群月变动的主要气象因子是月平均气温和月平均最低气温。综合分析认为,低温是导致六库桔小实蝇季节性发生的关键因素。

**关键词:**桔小实蝇;种群变动;气候因子;寄主植物;诱蝇谜;云南

中图分类号:Q968 文献标识码:A 文章编号:0454-6296(2007)01-0038-08

## Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Liuku, Yunnan with an analysis of the influencing factors

CHEN Peng<sup>1,2</sup>, YE Hui<sup>1,\*</sup> (1. Department of Biology, College of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; 2. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, China)

**Abstract:** Annual monitoring was conducted on the population dynamics of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) through methyl eugenol-baited traps in Liuku, Yunnan from 2003 to 2005 respectively. Temperature, rainfall and host-plant species were analyzed in relation to population fluctuation of the fly. The results indicated that during the study periods, adults of the fruit fly occurred seasonally from March to December. The population fluctuation was single peaked, with the peak in July. There were close relationships between the fluctuation of *B. dorsalis* male adult abundance and such environmental factors as temperature, rainfall, and raining days in Liuku, Yunnan. Decision coefficient and path analyses indicated that the monthly rainfall was the major decision factor, and the monthly mean temperature and the monthly mean minimum temperature were the crucial limiting factors, of which the monthly mean minimum temperature was the most important factor indirectly negatively influencing population increasing. The principal component analysis screened out the first principal components, all representing the low temperature condition, whose cumulative variance proportion was 77.65%. The results of stepwise regression analysis also indicated that the monthly mean temperature and the monthly mean minimum temperature were the major climatic factors influencing the population fluctuation. In conclusion, the lower temperature condition was the key factor resulting in the seasonal population fluctuation of *B. dorsalis* in Liuku, Yunnan.

**Key words:** *Bactrocera dorsalis*; population dynamics; climatic factors; host plant; methyl eugenol; Yunnan

基金项目:国家重点基础研究发展计划“973”项目(2003CB415100);国家自然科学基金项目(30260023)

作者简介:陈鹏,男,1975年生,云南昭通人,博士研究生,副研究员,主要从事昆虫生态学研究, Tel.: 0871-6770802, 13658716720; E-mail: chenpengkunning@yahoo.com.cn

\* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 0871-5033704, 13888059366; E-mail: yehui@ynu.edu.cn

收稿日期 Received: 2006-05-23; 接受日期 Accepted: 2006-11-10

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 又名东方果实蝇 (oriental fruit fly), 隶属实蝇科 (Tephritidea) 果实蝇属 *Bactrocera*, 可危害 40 个科的 300 余种瓜果, 是许多具有重要经济价值的热带和亚热带瓜果的主要害虫 (Haramoto and Bess, 1970; Vargas *et al.*, 1984; Smith, 1989; Clarke *et al.*, 2005)。该虫于 1912 年首次报道于我国台湾 (李文蓉, 1988), 迄今在亚洲及环太平洋的多数国家和地区均有其分布的报道 (Christenson and Foot, 1960; Hsu, 1973; 岩桥统, 1984; Dai *et al.*, 2004)。

桔小实蝇在亚热带地区通常一年发生 3~5 代, 在热带地区一年可发生 8~10 代, 各世代重叠 (刘玉章等, 1985; Ye, 2001; 蒋小龙等, 2001)。桔小实蝇产卵于渐近或已经成熟的寄主果实内。在自然环境下, 每雌一次可产卵 10~30 粒, 一生最多可产卵 1 200~1 500 粒, 在最佳环境条件下, 其产卵量甚至可超过 3 000 粒 (刘玉章和黄莉欣, 1990; Vargas and Carey, 1990; Ye, 2001; 黄莉欣等, 2003)。幼虫孵化出来后在果实内潜食果肉, 由此导致受害瓜果空洞、腐烂, 幼虫发育成熟后跳离受害果, 钻入土壤表层化蛹 (Arai, 1975, 1976; 李红旭和叶辉, 2000)。成虫从土壤中羽化出来后, 需取食花蜜、果实或露水以补充营养, 性腺发育成熟后飞到寄主瓜果上产卵, 由此形成新一轮危害 (Smith, 1989)。桔小实蝇在产卵过程中所形成的产卵孔还将引发有害真菌入侵, 导致被害果实局部坏死或大面积霉变 (Arai, 1975, 1976; 李红旭和叶辉, 2000)。桔小实蝇生活周期短、寄主广泛、繁殖力强、危害性大, 一直被世界各国列为重要的检疫性害虫 (Bateman, 1972; Shukla and Prasad, 1985; 朱耀沂和邱辉宗, 1989; 张润杰和侯柏华, 2005)。

在我国, 桔小实蝇主要分布于南方各省区, 云南是我国桔小实蝇的主要发生和危害地之一 (周又生等, 1996; 沈发荣等, 1997; 李红旭和叶辉, 2000; Ye, 2001; 施伟和叶辉, 2004; Ye and Liu, 2005; 叶辉和刘建宏, 2005; Shi *et al.*, 2005; 刘建宏和叶辉, 2005, 2006; 陈鹏和叶辉, 2006)。云南具有热带、亚热带及温带等复杂多样的气象条件。在不同的气象条件下, 桔小实蝇形成了相应的发生和分布模式, 其基本规律是: 桔小实蝇在云南北纬 24 度以南的地区常年发生, 而在北纬 24~26 度的地区仅季节性发生 (李红旭和叶辉, 2000; Ye, 2001)。六库是云南省怒江州的首府, 位于滇西北横断山脉的怒江峡谷地区, 是我国桔小实蝇发生区的西端。该地

由平均海拔为 4 000 m 以上的高黎贡山和碧罗雪山所环抱, 处于峡谷谷底, 怒江河道成为该地区与外界相通的惟一自然通道。六库年平均气温 20℃, 年平均降水量 1 011 mm, 属典型的南亚热带湿润性季风气候。桔小实蝇在六库发生, 对当地的热带和亚热带瓜果形成相当程度的危害, 但由于六库地处偏僻, 有关六库桔小实蝇种群变动一直未能深入系统的研究 (李红旭和叶辉, 2000; Ye, 2001; 蒋小龙等, 2001)。选择对六库桔小实蝇进行研究, 一方面是想了解六库桔小实蝇种群动态的基本规律及其影响因子, 为制定当地桔小实蝇防治方案提供科学依据; 另一方面, 对该复杂地理条件下桔小实蝇种群变动规律的认识, 也将丰富我们对云南不同地区桔小实蝇种群动态的知识, 进而完善云南全境桔小实蝇种群时空变动规律的图式, 为从根本上揭示云南各地桔小实蝇发生规律之间的内在联系, 制定云南桔小实蝇综合防治的总体策略提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点

分别于 2003、2004 和 2005 年在六库赖茂村 (25°49'N, 98°51'E, 海拔 930 m)、小沙坝 (25°53'N, 98°50'E, 海拔 1 002 m)、民族中专 (25°51'N, 98°51'E, 海拔 925 m) 调查桔小实蝇自然种群数量。每个地点调查的果园面积约 1 hm<sup>2</sup>, 主要水果种类有桃 *Prunus persica*、梨 *Pyrus communis*、柑橘 *Citrus sinensis*、柿 *Diospyros kaki*、芒果 *Mangifera indica* 等。近年来, 调查果园未对病虫害施用过任何化学农药, 果园内间作有红薯和玉米, 果园附近种有甘蔗、油桐、漆树等作物和经济林。

### 1.2 调查方法

我们在每个调查点设置 3 个 Steiner 诱捕器, 诱捕器内上方悬挂浸有诱蝇醚 (methyl eugenol) 和马拉硫磷混合液的诱芯。诱蝇醚为桔小实蝇雄成虫诱捕剂, 由美国 CCA (常州) 生物化学有限公司提供。诱捕器悬挂在离地面约 2 m 高的树枝上。诱捕器内的实蝇每月收集一次, 并带回实验室内鉴定种类, 并记录各类实蝇数量。每月添加一次诱蝇醚和马拉硫磷混合液。鉴于桔小实蝇成虫雌雄性比为 1:1 (和万忠等, 2002), 雄成虫诱捕量可以作为桔小实蝇成虫种群数量的估计参数。

### 1.3 数据分析处理

将 3 年各月桔小实蝇雄成虫数量 ( $Y$ ) 与其同月

的6种气象因子:月平均气温( $X_1$ )、月平均最低气温( $X_2$ )、月平均最高气温( $X_3$ )、月降雨量( $X_4$ )、月雨日数( $X_5$ )及月平均日照时数( $X_6$ )进行相关分析;根据这些因子各相关系数的组成效应,将所选各气象因子( $X_i$ )与种群数量( $Y$ )的相关系数剖分为直接作用和通过其他因子( $X_j$ )的间接影响两部分进行途径分析(何东进等,2000;袁志发等,2001)。鉴于各气象因子变量对桔小实蝇种群变动的直接影响和总影响排序可能不会相同,用决定系数把各自变量对响应变量的综合作用进行排序,以确定主要决定变量和限制性变量(袁志发等,2001)。同时为了分析各因子间的交互影响,及其影响的大小,在前述分析的基础上就这些气象因子对桔小实蝇种群数量变动的的影响进行主成分分析和逐步回归分析(郭宝林等,2000;唐启义和冯明光,2002)。

气温和降雨等气象资料源于云南省气象局。桔小实蝇寄主面积及产量等资料取自怒江州农业局。数据处理采用 SPSS 11.0 统计分析软件。桔小实蝇诱捕量曲线采用 Microsoft Office Excel 2003 软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 桔小实蝇的年消长

桔小实蝇雄成虫诱捕数量年变动如图 1 所示。图中所示的平均诱捕量为 3 个调查点 9 个诱捕器诱捕量的平均值。图 1 表明,六库桔小实蝇成虫种群呈一个年增长高峰,各年间诱捕量有一定差异,但其变动规律基本一致( $F_{2,33} = 0.0510, P = 0.9501$ )。

在所研究的 3 年中,每年 1-2 月均没有诱捕到桔小实蝇成虫(图 1),说明该时期没有桔小实蝇成

虫活动。当年诱捕到桔小实蝇的最早时间是 3 月下旬,但诱捕量极低,2003 年 3 月仅诱捕到桔小实蝇雄成虫 6 头,而在 2004 年和 2005 年同期的诱捕量也仅为 5 头和 2 头,反映在此期间桔小实蝇成虫种群数量小,或成虫不甚活跃。4-5 月,桔小实蝇雄成虫诱捕量相比 3 月明显增加,但诱捕量仍偏低,如 2005 年,平均每诱捕器所捕获的桔小实蝇雄成虫分别为 4 月 24 头,5 月 40 头。所研究的 3 年中,3-5 月间各月桔小实蝇诱捕量的变化趋势大体相同,在年度间差异不显著( $F_{2,6} = 0.1950, P = 0.8280$ )。

6-7 月桔小实蝇雄成虫月均诱捕量增长显著,以 2005 年为例,每诱捕器桔小实蝇平均诱捕量分别为 165 头和 386 头。各年间,7 月均为桔小实蝇诱捕的高峰期。7 月以后,桔小实蝇诱捕量开始下降,下降速度在年度间有所不同,如在 2004 年诱捕量减少明显,8 月的诱捕量为 188 头,仅为 7 月诱捕量的 45.1%;而在 2005 年,8 月的诱捕量为 372 头,7 月高峰期的诱捕量为 386,这两个月的诱捕量几乎没有差异(图 1)。在所研究的 3 年中,8-9 月种群诱捕量仍较高,平均每诱捕器的诱捕量均在 160 头以上。从全年看,6-9 月桔小实蝇诱捕量明显高于其他月份,其在各年度间的变动规律基本一致( $F_{2,9} = 0.0320, P = 0.9688$ ),表明 6-9 月是当地桔小实蝇发生盛期。从 10 月至 12 月,桔小实蝇诱捕量持续下降,至次年 1-2 月桔小实蝇诱捕量为零。

### 2.2 主要气象因子对桔小实蝇成虫种群变动影响的相关分析

由于桔小实蝇雄成虫诱捕量的月变化在年度间无统计差异,将 3 年各月桔小实蝇雄成虫数量( $Y$ )与其同月的 6 种气象因子进行相关分析。相关分析表明,桔小实蝇种群数量的月变化与月平均气温、月

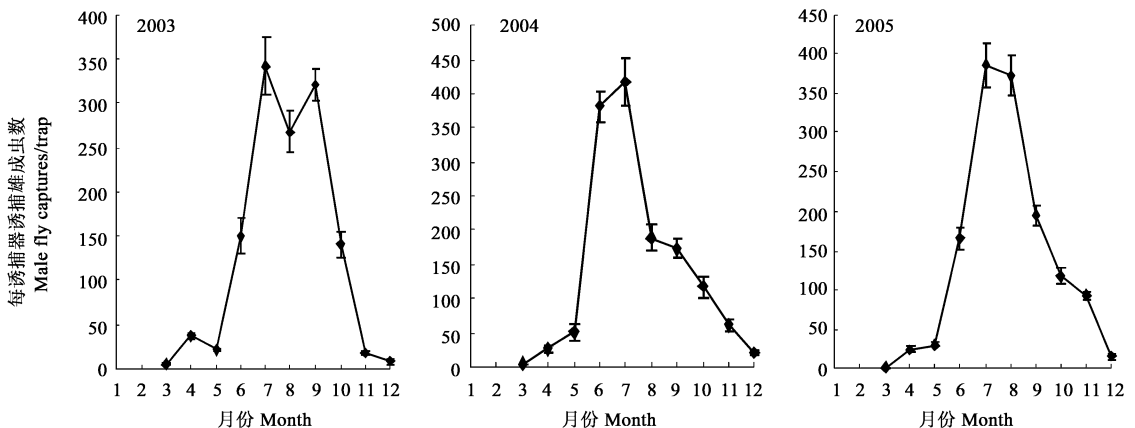


图 1 2003、2004 和 2005 年桔小实蝇雄成虫诱捕量(云南六库)

Fig. 1 Amounts of *Bactrocera dorsalis* male adults in Liuku, Yunnan in 2003, 2004 and 2005

平均最低温度、月平均最高温度、月降雨量和月雨日数呈正相关,而与日照时数呈负相关,且各相关性均极显著(表 1)。由此说明,桔小实蝇种群数量变动与这些气象因子的变化密切相关。

### 2.3 影响桔小实蝇成虫种群变动气象因子的通径分析

通径分析结果表明(表 2),月平均最低气温对桔小实蝇种群数量变动的直接作用最大,且其直接

作用大于间接作用,说明月平均最低气温的变化直接影响到桔小实蝇种群的数量变动。月平均气温、月平均最高气温、月降雨量、月雨日数及月平均日照时数对桔小实蝇种群变动的间接作用大于各自的直接作用,且这种间接作用效应主要是通过月平均最低温度产生。由此可见,月平均最低温度对桔小实蝇种群增长起到抑制作用,可以作为影响六库桔小实蝇种群数量变动的重要指标。

表 1 云南六库桔小实蝇种群数量变化与气象因子的相关性分析

Table 1 Correlation between *Bactrocera dorsalis* male adult abundance and climatic factors in Liuku, Yunnan

性状 Character	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	Y
$X_1$		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001
$X_2$	0.9893		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
$X_3$	0.9455	0.9116		0.0011	0.0001	0.0108	0.0001
$X_4$	0.5977	0.6717	0.5232		0.0001	0.0001	0.0001
$X_5$	0.7343	0.8081	0.6056	0.8516		0.0001	0.0001
$X_6$	-0.5401	-0.6373	-0.4200	-0.8326	-0.8605		0.0001
Y	0.7077	0.7577	0.6009	0.6300	0.7204	-0.6311	

对角线以下表示相关系数,对角线以上表示相关系数的显著水平。 $X_1$ 表示月平均气温( $^{\circ}\text{C}$ ), $X_2$ 表示月平均最低气温( $^{\circ}\text{C}$ ), $X_3$ 表示月平均最高气温( $^{\circ}\text{C}$ ), $X_4$ 表示月降雨量(mm), $X_5$ 表示月雨日数, $X_6$ 表示月平均日照时数(h),Y表示桔小实蝇雄成虫种群数量。下同。Below diagonal is correlation coefficient, and above diagonal is significant level of the correlation coefficient.  $X_1$  represents the monthly mean temperature( $^{\circ}\text{C}$ ),  $X_2$  the monthly mean minimum temperature( $^{\circ}\text{C}$ ),  $X_3$  the monthly mean maximum temperature( $^{\circ}\text{C}$ ),  $X_4$  the monthly rainfall amounts(mm),  $X_5$  the monthly raining days,  $X_6$  the monthly sunlight hours/day(h), and Y the monthly amounts of *B. dorsalis* male adults. The same below.

表 2 影响云南六库桔小实蝇种群数量变动的主要气象因子的相关与通径分析

Table 2 Correlation and path analysis between the fluctuation of *Bactrocera dorsalis* male adult abundance and main climatic factors in Liuku, Yunnan

性状 Character	相关系数 Correlative coefficient	直接作用 Direct path coefficient	间接作用总和 Total of indirect path coefficient	间接作用 Indirect path coefficient					
				$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
$X_1$	0.7077	-2.5971	3.3047		3.4624	-0.0390	0.0343	-0.0824	-0.0706
$X_2$	0.7577	3.5000	-2.7423	-2.5692	-0.0376	0.0385	-0.0907	-0.0833	
$X_3$	0.6009	-0.0413	0.6422	-2.4555	3.1905		0.0300	-0.0679	-0.0549
$X_4$	0.6300	0.0574	0.5727	-1.5523	2.3509	-0.0216		-0.0955	-0.1088
$X_5$	0.7204	-0.1122	0.8326	-1.9070	2.8282	-0.0250	0.0488		-0.1124
$X_6$	-0.6311	0.1307	-0.7619	1.4028	-2.2307	0.0173	-0.0478	0.0965	

决定系数计算结果显示,前述 6 个气象因子的决定系数分别为: $R_{(1)}^2 = -10.4209$ ;  $R_{(2)}^2 = -6.9461$ ;  $R_{(3)}^2 = -0.0513$ ;  $R_{(4)}^2 = 0.0690$ ;  $R_{(5)}^2 = -0.1743$ ;  $R_{(6)}^2 = -0.1821$ 。按照决定系数大小排序为: $R_{(4)}^2 > R_{(3)}^2 > R_{(5)}^2 > R_{(6)}^2 > R_{(2)}^2 > R_{(1)}^2$ 。在这 6 个气象因子中,月降雨量( $X_4$ )对应的决定系数为正值,说明降雨量是影响六库桔小实蝇种群动态的最主要决定因素。月平均气温( $X_1$ )和月平均最低气温( $X_2$ )对应的决定系数为负值,且决定系数值明显小于其他因子,表明这 2 个因子是影响种群数量变动的主要限制因素。

### 2.4 气象因子对桔小实蝇成虫种群变动的主成分分析

将上述 6 个气象因子进行主成分分析,由表 3

看出,第 1 个主成分的特征根为 4.659,方差贡献率为 77.65%,代表了全部性状信息的 77.65%,是最重要的主成分;第 2 个主成分的特征根为 1.001,方差贡献率为 16.69%,代表了全部性状信息的 16.69%,是仅次于第 1 主成分的重要主成分。其他主成分的贡献率依次明显较小,分别为 2.98%、1.87%、0.79%、0.04%。前两个主成分的累积方差贡献率为 94.34%,表明前两个主成分已经把影响六库桔小实蝇种群数量变动的气象因子的 94% 的信息反映出来,因而可以作为气象因子选择的综合指标来分析影响六库桔小实蝇种群变动。根据各性状相关矩阵的特征向量(表 4),可列出前两个主成分的函数表达式为:

$$Y_1 = 0.4244X_1 + 0.4423X_2 + 0.3890X_3 + 0.3902X_4 + 0.4258X_5 - 0.3733X_6$$

$$Y_2 = 0.3872X_1 + 0.2667X_2 + 0.5028X_3 - 0.4183X_4 - 0.2821X_5 + 0.5212X_6$$

表 3 云南六库气象指标中 6 个主成分的方差贡献率和累积方差贡献率

Table 3 Variance proportion and cumulative variance proportion of principal components in climatic factors in Liuku, Yunnan

主成分	特征值	贡献率	累积贡献率
PRIN	Eigenvalue	Proportion	Cumulative(%)
PRIN1	4.6590	77.6505	77.6505
PRIN2	1.0013	16.6882	94.3386
PRIN3	0.1785	2.9750	97.3136
PRIN4	0.1119	1.8651	99.1787
PRIN5	0.0471	0.7855	99.9643
PRIN6	0.0021	0.0357	100.0000

从表 4 可以看出,在第 1 主成分中,月平均最低温度、月雨日数和月平均温度 3 个性状具有较大的

表 4 云南六库主要气象因子相关矩阵的特征向量

Table 4 Eigenvectors of correlation matrix of main climatic factors in Liuku, Yunnan

性状 Character	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
PRIN1	0.4244	0.4423	0.3890	0.3902	0.4258	-0.3733
PRIN2	0.3872	0.2667	0.5028	-0.4183	-0.2821	0.5212
PRIN3	-0.1059	-0.1740	0.2280	0.7988	-0.2620	0.4470
PRIN4	0.0573	0.0878	-0.3376	0.0051	0.6997	0.6209
PRIN5	-0.3914	-0.4581	0.6499	-0.1861	0.4237	-0.0217
PRIN6	-0.7087	0.6967	0.0874	-0.0111	-0.0374	0.0567

## 2.5 气象因子对桔小实蝇成虫种群变动的逐步回归分析

为了对上述主成分分析结果作进一步验证,基于前面相关分析的结果,以桔小实蝇种群数量的月变化( $Y$ )为因变量,同月气象因子为自变量( $X_i$ ),就气象因子对桔小实蝇种群数量变动的影响进行了逐步回归分析。回归方程初始参数的选择标准是,进入回归方程式的  $F$  显著水平值为  $F \leq 0.05$ ,剔除回归方程式的  $F$  显著水平值为  $F \geq 0.01$ 。由此得到如下回归方程:

$$Y = 191.59 - 61.19X_1 + 72.32X_2$$

上述方程式,  $F$  值为 31.5198,显著性概率为

表 5 云南六库 2003 年主要桔小实蝇寄主的挂果期及产量

Table 5 Yields and fruiting periods of the major host plants of *Bactrocera dorsalis* in Liuku, Yunnan in 2003

寄主种类	挂果期	面积( $\text{hm}^2$ )	年产量( $\times 1000$ kg)
Host species	Fruiting period	Area	Annual harvest
梨 <i>Pyrus communis</i>	8-10 月 Jul. - Oct.	110	181
柑橘 <i>Citrus sinensis</i>	10-12 月 Oct. - Dec.	80	70
桃 <i>Prunus persica</i>	5-6 月 May - Jun.	50	30
柿 <i>Diospyros kaki</i>	6-8 月 Jun. - Aug.	40	30
石榴 <i>Punica granatum</i>	8-9 月 Aug. - Sept.	13	10
芒果 <i>Mangifera indica</i>	7-8 月 Jul. - Aug.	10	5
葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	8-9 月 Aug. - Sept.	3	2

正系数值,表明第 1 主成分主要反映了影响六库桔小实蝇种群数量变动的气象因子中月平均最低温度、月雨日数和月平均温度均具有较高的特性,而这些因子的变化与当地低温的产生密切相关,因此第 1 主成分值可视为低温指标。第 2 主成分中,月平均最高温度和月平均日照时数这 2 个气象因子的系数值较大,表明平均最高气温和平均日照时数是构成第 2 主成分的主要因子,这 2 个气象因子与当地高温天气的产生密切相关,故第 2 主成分可视为高温指标。由此可见,六库的低温条件和高温条件是主要影响当地桔小实蝇种群数量变动的主要因子,也即温度条件是影响六库桔小实蝇种群数量变动的主要气象因素。

0.0001,多元相关系数  $R = 0.8102$ 。计算结果表明,月平均温度和月平均最低温度综合影响六库桔小实蝇种群的月变动。这 2 个气象因子及它们的交互效应对月种群变动的总决定系数为:  $R^2 = 0.6564$ ,也即这 2 个变量决定了种群动态变化的 65.64%,可见这 2 个气象因子是影响六库桔小实蝇种群动态的主要气象因素。

## 2.6 寄主果实对桔小实蝇种群动态的影响

寄主瓜果是桔小实蝇赖以生存的物质基础。桔小实蝇在六库的寄主植物包括:梨、柑橘、桃、芒果、柿、石榴和葡萄。在这些寄主中,梨、柑橘、桃和柿是当地主要的栽培水果(表 5)。

由于不同水果或同一种水果不同品种的挂果期不同,因而对桔小实蝇种群数量所产生影响也不会一样。六库桔小实蝇主要寄主的挂果期如表 5 所示,1-5 月六库缺乏桔小实蝇的适宜成熟的寄主水果,而 6-12 月桔小实蝇寄主的成熟水果较为丰富。多种水果成熟期集中出现在下半年可以解释为该时期六库桔小实蝇种群数量升高的又一原因。进一步分析发现,5-7 月怒江六库桔小实蝇的种群增长期和高峰期与桃、柿和芒果的挂果期相吻合,说明寄主瓜果对实蝇种群增长有积极作用。梨是怒江地区种植最为广泛的水果种类,桔小实蝇对梨的危害程度远低于怒江峡谷区对桃、柿、芒果的危害。分析认为,尽管梨在六库的面积和产量都最大,但梨不是当地桔小实蝇的最适宜寄主。柑橘是桔小实蝇最适宜的寄主之一,在六库柑橘的种植面积和产量仅次于梨,但柑橘的果实成熟期在初冬季节,此时桔小实蝇成虫种群数量无一例外的均呈下降趋势,野外调查也没有发现桔小实蝇对当地柑橘的危害,表明尽管在该时期有适宜的寄主,但其他环境因子,如前面分析的低温等,对当地桔小实蝇种群产生了重要的抑制作用。

### 3 讨论

研究揭示,在云南六库,桔小实蝇仅在每年的 3-12 月发生,成虫种群增长属单峰型,7 月为种群增长高峰。

研究揭示,气温是影响六库桔小实蝇成虫月种群数量变动的主要因素之一。桔小实蝇生长发育的温度范围在 15~34℃ 之间,最适发育温度为 18~30℃,卵、幼虫和蛹的发育起点温度分别为 11~12℃、9~11℃ 和 9~11℃,当温度高于 34℃ 或低于 15℃ 时,桔小实蝇成虫、幼虫大量死亡(Bateman, 1972; Fletcher, 1987, 1989; Vargas, 1996; 汪兴鉴, 1996; 吴佳教等, 2000)。

分析六库 1996-2005 年的气温,1-2 月的月平均温度分别为 14.2℃ 和 16.5℃,虽然基本达到桔小实蝇的发育温度下限,但月平均最低温度相对较低,分别为 8.0℃ 和 10.4℃,低于桔小实蝇生长发育的温度范围,势必影响桔小实蝇的正常活动,故认为是 1-2 月桔小实蝇成虫未能诱捕到的重要原因。3-5 月六库的月平均最低气温虽然低于或略高于桔小实蝇生长发育的温度区域,分别为 13.7℃、16.5℃ 和 19.2℃,但月平均气温分别为 19.5℃、21.8℃ 和

24.1℃,处于桔小实蝇生长发育的温度范围,桔小实蝇成虫开始在六库出现,但种群数量较低。4-10 月平均温度在 21.8~25.6℃ 之间,月平均最低气温在 16.5~17.7℃ 之间,均处于桔小实蝇发育的适宜温区,桔小实蝇发生量增加,种群数量较高。11-12 月平均温度为 17.8℃ 和 15.2℃,月平均最低气温为 12.3℃ 和 9.4℃,其中的月平均最低气温已经低于桔小实蝇发育的温度范围,已不利于桔小实蝇的生长发育,成虫种群数量迅速下降。从全年来看,六库气温对桔小实蝇种群变动的影响主要反映在两方面:11 月至次年 2 月,月平均气温总体偏低,尤其是月平均最低气温对桔小实蝇种群有明显的抑制作用,1-2 月未能在六库诱捕到桔小实蝇雄成虫,更加证明了这一点;而在整个夏季,气温均处于桔小实蝇的适宜温度范围,对桔小实蝇种群增长有积极影响。故认为气温是导致桔小实蝇在六库季节性发生的基本原因。

月降雨量与六库桔小实蝇雄成虫的月诱捕数量成明显的正相关关系,是影响六库桔小实蝇种群动态的最主要决定因素。降雨主要通过对土壤含水量和空气湿度对桔小实蝇产生间接影响(Hsu, 1973; Alyokhin *et al.*, 2001)。六库全年干、湿两季分明。干季(11 月至次年 4 月)受西藏高原侵入的干冷空气影响,空气干燥,降雨少,仅占全年降雨量的 20%,这一时期六库桔小实蝇种群数量很低。湿季(5-10 月)受西南暖湿气流的影响,空气湿润,降雨集中,降雨量占全年的 80%,这一时期,正直六库多种瓜果的成熟期,降雨使瓜果园土壤湿度增加,有利于桔小实蝇成虫羽化,对桔小实蝇种群增长有利,考虑到这几个月的气温变化基本相似,因此可以认为,降雨和寄主综合作用于这一时期桔小实蝇种群数量变动。

本研究再次验证了有关云南桔小实蝇在北纬 24 度至 26 度之间为季节性发生的结论(Ye, 2001),但由此也为我们提出了新的问题,即 3 月以后出现的桔小实蝇是来自当地或是外地迁入?为证实桔小实蝇是否会从外地迁入,我们于 2005 年夏季开展了怒江中游地区桔小实蝇迁移研究。该研究已经证明,在距离六库 115 km 下游的怒江坝桔小实蝇可迁飞到六库;并证明怒江坝桔小实蝇是借助怒江两边高大山脉所形成的天然河谷通道,在北上气流的携带下,迁移扩散至六库的(另文发表)。这就说明,六库桔小实蝇至少有部分来自外地。但是,这一研究结果并不排斥六库桔小实蝇种群部分个体在当地以

某种形式越冬的可能。六库 1-2 月的最低温度已经低于桔小实蝇各虫态的发育起点温度,但平均气温仍高于各虫态的发育起点温度,因此,六库每年最早出现的桔小实蝇成虫也有可能源于当地越冬种群。对于这一推论,我们拟将开展进一步的研究来加以确认。基于六库全年气温变动的比较分析,可以认为,冬季低温条件是导致六库桔小实蝇产生季节性发生模式的关键因素。

### 参 考 文 献 (References)

- Alyokhin AV, Mille C, Messing RH, 2001. Selection of pupation habitats by oriental fruit fly larvae in the laboratory. *J. Insect Behav.*, 14(1):57-67.
- Arai T, 1975. Diel activity rhythms in the life history of the oriental fruit fly. *Japan. J. Appl. Entomol. Zool.*, 19:253-259.
- Arai T, 1976. Effects of light and temperature on the diel cyclicity of the larval jumping behavior of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* (Hendel). *Japan. J. Appl. Entomol. Zool.*, 20:69-76.
- Bateman MA, 1972. The ecology of fruit fly. *Annu. Rev. Entomol.*, 17:493-518.
- Chen P, Ye H, 2006. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) along with analysis on the factors influencing the population in Ruili, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 26(9):2 801-2 809.[陈鹏,叶辉,2006.云南瑞丽桔小实蝇成虫种群数量变动及其影响因子分析.生态学报,26(9):2 801-2 809]
- Christenson LC, Foot BH, 1960. Biology of fruit flies. *Annu. Rev. Entomol.*, 5:171-192.
- Chu YI, Chiu HT, 1989. The re-establishment of *Dacus dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae) after the eradication on Lambay Island. *Chin. J. Entomol.*, 9:217-230.[朱耀沂,邱辉宗,1989.小琉球东方果实蝇处理后再发生为害原因之探讨.中华昆虫,9:217-230]
- Clarke AR, Armstrong KF, Carmichael AE, Milne RJ, Raghu S, Roderick KK, Yeates KD, 2005. Invasive phytophagous pests arising through a recent tropical evolutionary radiation: the *Bactrocera dorsalis* complex of tropical fruit flies. *Annual Review of Entomology*, 50:293-319.
- Dai SM, Lin CC, Chang C, 2004. Polymorphic microsatellite DNA markers from the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Mol. Ecol. Notes*, 4(3):629-631.
- Fletcher BS, 1987. The biology of dacine fruit flies. *Ann. Rev. Entomol.*, 32:115-144.
- Fletcher BS, 1989. Life history strategies of tephritid fruit flies. In: Robinson AS, Hooper G eds. *Fruit Flies: Their Biology, Natural Enemies, and Control*, World Crop Pests Series, Vol. 3B. Amsterdam: Elsevier. 195-208.
- Guo BL, Yang JX, Li YC, Yu SS, 2000. The application of principal component analysis on mainly economic characters and superior variety selection of apricot for nucleolus using. *Scientia Silvae Sinicae*, 36(6):53-56.[郭宝林,杨俊霞,李永慈,于树胜,2000.主成分分析法在仁用杏品种主要经济性状选种上的应用研究.林业科学,36(6):53-56]
- Haramoto FH, Bess HA, 1970. Recent studies on the abundance of the oriental and Mediterranean fruit flies and the status of their parasites. *Proc. Hawaii Entomol. Soc.*, 20:551-566.
- He DJ, Hong W, Cui CY, Chen YF, Xu GJ, Wang Q, 2000. A path analysis for the top blight of *Phyllostachys heterocycle*. *Journal of Fujian College of Forestry*, 20(3):203-206.[何东进,洪伟,崔春英,陈永芳,许国建,王强,2000.通径分析在毛竹枯梢病研究中的应用.福建林学院学报,20(3):203-206]
- He WZ, Sun BZ, Li CJ, Long ZB, 2002. Bionomics of *Bactrocera dorsalis* and its control in Hekou County of Yunnan Province. *Entomol. Knowl.*, 39(1):50-52.[和万忠,孙兵召,李翠菊,龙忠保,2002.云南河口县桔小实蝇生物学特性及防治.昆虫知识,39(1):50-52]
- Hsu ES, 1973. Biological studies on the oriental fruit fly (*Dacus dorsalis*). *Plant Prot. Bull. (Taiwan)*, 5:59-86.
- Huang LH, Lin MC, Chen QN, 2003. Estimation of the damage rate of guava fruits by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) based on ovipositional punctures. *Formosan Entomol.*, 23:35-48.[黄莉欣,林美雀,陈秋男,2003.以果实蝇(*Bactrocera dorsalis*) (双翅目:果实蝇科)产卵孔数估算番石榴果实受害率.台湾昆虫,23:35-48]
- Jiang XL, He WZ, Xiao S, 2001. Study on the biology and survival of *Bactrocera dorsalis* in the border region of Yunnan. *J. Southwest Agric. Univ.*, 23(6):510-517.[蒋小龙,和万忠,肖枢,2001.桔小实蝇在云南边境生物学研究及适生性分析.西南农业大学学报,23(6):510-517]
- Li HX, Ye H, 2000. Infestation and distribution of the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Yunnan Province. *J. Yunnan Univ.*, 22(6):473-475.[李红旭,叶辉,2000.桔小实蝇在云南的危害与分布.云南大学学报,22(6):473-475]
- Li WR, 1988. The control programme of the oriental fruit fly in Taiwan. *Chin. J. Entomol. Special Publ.*, 2:51-60.[李文蓉,1988.东方果实蝇之防治.中华昆虫特刊,2:51-60]
- Liu JH, Ye H, 2005. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Yuanjiang dry-hot valley, Yunnan with an analysis of the related factors. *Acta Entomologica Sinica*, 48(5):706-711.[刘建宏,叶辉,2005.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,48(5):706-711]
- Liu JH, Ye H, 2006. Effects of light, temperature and humidity on the flight activities of the Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(2):211-214.[刘建宏,叶辉,2006.光照、温度和湿度对桔小实蝇飞翔活动的影响.昆虫知识,42(2):211-214]
- Liu YC, Chi H, Chen SH, 1985. The population fluctuation of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel, in Chia-Yi orchard. *Chin. J. Entomol.*, 5:79-84.[刘玉章,齐心,陈雪惠,1985.嘉义地区东方果实蝇之族群变动.中华昆虫,5:79-84]
- Liu YC, Huang LH, 1990. The oviposition preference of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel. *Chin. J. Entomol.*, 10:159-168.[刘玉章,黄莉欣,1990.东方果实蝇之产卵偏好.中华昆虫,10:159-168]
- Shen FR, Zhou YS, Zhao HP, 1997. The biological characteristics and

- control of *Dacus* (*Bactrocera*) *dorsalis* (Hendel). *J. Southwest Forestry College*, 12(1): 85 - 89. [沈发荣, 周又生, 赵焕平, 1997. 柑桔小实蝇生物学特性及其防治研究. 西南林学院学报, 12(1): 85 - 89]
- Shi W, Ye H, 2004. Genetic differentiation in five geographic populations of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) in Yunnan Province. *Acta Entomol. Sin.*, 47(3): 384 - 388. [施伟, 叶辉, 2004. 云南桔小实蝇五个地理种群的遗传分化研究. 昆虫学报, 47(3): 384 - 388]
- Shi W, Kerdelhue C, Ye H, 2005. Population genetics of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae), in Yunnan (China) based on mitochondrial DNA sequences. *Environmental Entomology*, 34(4): 977 - 983.
- Shukla RP, Prasad VG, 1985. Population fluctuations of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel in relation to hosts and abiotic factors. *Tropical Pest Management*, 31(4): 273 - 275.
- Smith PH, 1989. Behavioral partitioning of the day and circadian rhythmicity. In: Robinson AS, Hooper G eds. *Fruit Flies: Their Biology, Natural Enemies, and Control*, World Crop Pests Series, Vol. 3B. Amsterdam: Elsevier. 325 - 341.
- Tang QY, Feng MG, 2002. DPS Data Processing System for Practical Statistics. Beijing: Science Press. 367 - 373. [唐启义, 冯明光, 2002. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社. 367 - 373]
- Vargas RI, 1996. Survival and development of immature stages of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Annu. Entomol. Soc. Am.*, 89(1): 64 - 69.
- Vargas RI, Miyashita O, Nishida T, 1984. Life history and demographic parameters of three laboratory-reared tephritids (Diptera: Tephritidae). *Annu. Entomol. Soc. Am.*, 77: 651 - 656.
- Vargas RI, Carey JR, 1990. Comparative survival and demographic statistics for wild oriental fruit fly, Mediterranean fruit fly and melon fly (Diptera: Tephritidae) on papaya. *J. Econ. Entomol.*, 83(4): 1344 - 1349.
- Wang XJ, 1996. The fruit flies of the East Asian region. *Acta Zootax. Sin.*, 21(Suppl.): 1 - 338. [汪兴鉴, 1996. 东亚地区双翅目实蝇科昆虫. 动物分类学报, 21(增刊): 1 - 338]
- Wu JJ, Liang F, Liang GQ, 2000. Studies on the relation between developmental rate of oriental fruit fly and its ambient temperature. *Plant Quarantine*, 14(6): 321 - 324. [吴佳教, 梁帆, 梁广勤, 2000. 桔小实蝇发育速率与温度关系的研究. 植物检疫, 14(6): 321 - 324]
- Yan QT, 1984. Study on *Dacus dorsalis* Hendel (Diptera: Trypetidae) on Okinawa. *Chin. J. Entomol.*, 4: 107 - 120. [岩桥统, 1984. 琉球地区东方果实蝇之防治研究. 中华昆虫, 4: 107 - 120]
- Ye H, 2001. Distribution of the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Yunnan Province. *Entomol. Sin.*, 8(2): 175 - 182.
- Ye H, Liu JH, 2005. Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Xishuangbanna of Southern Yunnan. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16(7): 1330 - 1334. [叶辉, 刘建宏, 2005. 云南西双版纳桔小实蝇种群动态. 应用生态学报, 16(7): 1330 - 1334]
- Ye H, Liu JH, 2005. Population dynamics of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in the Kunming area, southwestern China. *Insect Science*, 12: 231 - 240.
- Yuan ZF, Zhou JY, Guo MC, Lei XQ, Xie XL, 2001. Decision coefficient - the decision index of path analysis. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 29(5): 131 - 133. [袁志发, 周静芋, 郭满才, 雷雪芹, 解小莉, 2001. 决策系数——通径分析中的决策指标. 西北农林科技大学学报, 29(5): 131 - 133]
- Zhang RJ, Hou BH, 2005. Assessment on the introduction risk of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) through imported fruits with fuzzy mathematics. *Acta Entomol. Sin.*, 48(2): 221 - 226. [张润杰, 侯柏华, 2005. 桔小实蝇传入风险的模糊综合评估. 昆虫学报, 48(2): 221 - 226]
- Zhou YS, Shen FR, Zhao HP, 1996. Study on the biology of *Dacus* (*Bactrocera*) *dorsalis* (Hendel) and synthetical control. *J. Southwest Agric. Univ.*, 18(3): 210 - 213. [周又生, 沈发荣, 赵焕平, 1996. 芒果柑桔小实蝇生物学及其综合防治研究. 西南农业大学学报, 18(3): 210 - 213]

(责任编辑: 袁德成)