应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2015, 52(1): 223–236. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2014.024

早竹林内蝇类多样性动态及其影响因子分析*

程小飞[1**] 李华荣[1] 田青英[2] 朱卫兵[3] 袁登荣[2] 刘国华[1]
王福升[1] 黄伟量[1] 时培建[1***]

（1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心，南京林业大学竹类研究所，南京 210037；2. 南京市园艺技术推广站，南京 210036；
3. 中国科学院上海昆虫博物馆，上海 200032）

摘 要 **【目的】** 早竹是一种重要的笋用竹种，人工经营的早竹林出笋率高、经济价值大。然而一些蝇类寄生于早竹笋内，导致竹笋品质降低、竹林退笋率增加。通过研究早竹林内蝇类种群动态和物种多样性，为科学防治笋蝇提供依据，以降低早竹笋的退笋率，增加竹笋产量，提高早竹种植的经济效益。**【方法】** 采用黄板诱捕法调查早竹林内蝇类的多样性，运用多元线性回归分析了环境因子对蝇类 Shannon-Wiener 多样性指数的影响；并使用变异分解的方法分析了空间变量和环境变量对蝇类 β 多样性的影响。**【结果】** 研究结果显示：在早竹林内共诱捕到的蝇类有 8 科 10 种，其中竹笋绒茎蝇 *Chyliza bambusae*、江苏泉蝇 *Pegomyia kiangsuensis*、横带花蝇 *Anthomyia illocata*、常齿股蝇 *Hydrotaea dentipes*、黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteata* 是早竹林内的优势物种；黄板周围 1.5 m 范围内成竹数量和幼笋数量对蝇类的多样性有显著性影响，早竹林内蝇类的物种多样性随着成竹数量的增加而降低；空间变量单独对蝇类 β 多样性的解释量为 8.54%，环境变量单独解释的量为 28.84%，两者共同解释的量为 10.46%，不能被环境变量和空间变量解释的量为 52.16%。**【结论】** 本研究展示了早竹林内蝇类多样性变动的动态，并阐释了蝇类多样性的主要影响因子，对于竹林害虫的综合治理、提高竹笋产量具有现实和理论意义。

关键词 β 多样性，Shannon-Wiener 指数，空间变量，环境变量，变异分解

Dynamics and impact factor analysis of fly species diversity in *Phyllostachys violascens* stands

CHENG Xiao-Fei[1**] LI Hua-Rong[1] TIAN Qing-Ying[2] ZHU Wei-Bing[3] YUAN Deng-Rong[2]
LIU Guo-Hua[1] WANG Fu-Sheng[1] HUANG Wei-Liang[1] SHI Pei-Jian[1***]

(1. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Bamboo Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Nanjing Extension Service Station of Horticultural Technology, Nanjing 210036, China; 3. Shanghai Entomological Museum, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China)

Abstract **[Objectives]** *Phyllostachys violascens* is an important bamboo species that can produce abundant edible bamboo shoots. However, some fly species parasitize bamboo shoots, leading to degraded shoot quality and yield decrease. The objectives of this study were to study the population dynamics and species diversity of flies in *P. violascens* stands. It can provide necessary biological knowledge for scientifically controlling these flies. Thus, this study is valuable for improving the shoot quality and output of artificially cultivated *P. violascens*. **[Methods]** The diversity of flies in *P. violascens* stands was investigated using yellow sticky traps. The effects of environmental factors on the Shannon-Wiener index of the fly community

*资助项目 Supported projects：林业公益性行业科研专项（201204106）；江苏省林业三新工程项目—“覆盖早竹林留笋成竹技术研究与推广”(lysx[2012]20)；国家自然科学基金（31400348，31400456）；江苏高校优势学科建设工程项目

**第一作者 First author，E-mail: xfcheng_njfu@163.com

***通讯作者 Corresponding author：E-mail: shi_peijian@163.com

收稿日期 Received：2014-10-27，接受日期：2014-11-10

were analyzed using the multiple linear regression. In addition, the method of variation partitioning was employed to analyze the β diversity caused by environmental and spatial variables. **[Results]** Ten species of flies from 8 families were identified in *P. violascens* stands in the Dajingshan forest farm, among which *Chyliza bambusae*, *Pegomyia kiangsuensis, Anthomyia illocata, Hydrotaea dentipes* and *Episyrphus balteata* were the dominant species. The number of adult bamboos and that of young bamboo shoots within a radius of 1.5 m around yellow sticky traps had a significant influence on the species diversity of flies; diversity declined with increasing number of adult bamboos. Total variation of the species matrix can be partitioned as follows: spatial species variation not shared by the environmental variables comprised, 8.54%, non-spatial environmental variation, 28.84%, spatially structured environmental variation, 10.46%, and unexplained variation and stochastic fluctuations, 52.16%. **[Conclusion]** This study revealed the temporal dynamics of flies in *P. violascens* stands and illustrated the main factors affecting the species diversity of flies. These results have both practical and theoretical implications for increasing the production of bamboo shoots and also for the integrated management of the insect pests of bamboo.

Key words β diversity, Shannon-Wiener index, spatial variable, environmental variable, variation partitioning

早竹 *Phyllostachys violascens* 又名雷竹，为禾本科竹亚科刚竹属植物，是一种优良的笋用竹种，具有出笋早、笋期长、产量高、无明显大小年等特点，主要分布在长江以南的浙江、江苏、安徽、江西等省，以德清、余杭和临安三县（市）及杭州市郊为盛。早竹既是生态竹种，又是成本低、效益好的经济竹种，早竹笋具有低糖、低脂等特点，口感鲜嫩香脆，备受人们的青睐。自 1995 年从浙江引种栽培早竹以来，经过近 20 年的发展，早竹笋产业已成为高淳县农业的龙头产业。该县早竹主要以专业户承包经营为主，承包户多以家庭模式经营，每户承包规模 1.33～2.00 hm^2。由于早竹笋在前期产量少价格高，所以采用覆盖以提早出笋的技术在高淳县被广泛采用。据统计，使用覆盖技术的早竹林每 667 m^2 的纯收入为 8 000～15 000 元，而不使用覆盖技术的早竹林其每亩纯收入只有 2 000～3 000 元。由于覆盖一般采用稻草、砻糠和有机肥等容易滋生蝇类，早竹园受蝇类危害严重，退笋率增加、竹笋品质下降，给当地农民带来了较大的经济损失。据我们初步调查，由于蝇类的寄生，早竹笋退笋率能达到 30%，而导致早竹笋退笋的蝇类并非单一物种，因此，对早竹林内蝇类物种多样性的研究非常有必要。

蝇类是重要的病媒生物（全国爱国卫生运动委员会和卫生部，2010），除了传播各种疾病、骚扰人畜休息以外，还会危害农、林、牧业，给人们的生产和生活造成很大的损失（薛万琦和赵建铭，1998），因此，了解和掌握蝇类的生态规律，研究蝇类的多样性对减少农林牧业经济损失和除害灭病有重要的意义。生态学者对蝇类多样性进行了调查研究，主要研究有对不同生境蝇类多样性的研究，主要包括马尾口岸、菜场、园林、城区、森林、水生环境等生境（Borcard *et al.*，1992；鲍毅新，2001；陈佳木等，2009；马红梅等，2009)。此外，还有对危害水果蔬菜的实蝇类群的物种多样性的研究（刘莉，2012；陈鹏等，2013）。研究较多的是从种数和区系成分等角度对有瓣蝇类多样性的分析（程晓兰等，2008；刘吉起等，2011；任宏伟和王明福，2011；季延娇和王明福，2013；李明月和王明福，2014；马光等，2014）。对于早竹林，朱国良等（2000）研究了寄生于早竹枝梢的竹长尾小蜂 *Diomorus aiolomorphi* 和竹广肩小蜂 *Aiolomorphus rhopaloides* 对早竹的为害；白洪青（2008）研究了早竹笋中蚜总科、象甲科、茎蝇科、螟蛾科、夜蛾科等主要害虫及其综合防治措施，但对早竹林内蝇类多样性的相关研究却未见报道。

研究物种多样性的方法有多种，可以通过计算每个地点的多样性指数，进而对可能解释点之间差异的因子所作的假设进行检验来研究，也可以将涵盖所有点的群落组成数据表看作是一系列环境和空间变量的函数，进行直接分析（Legendre，2007）。国内学者对蝇类物种多样性的研究多使用生物多样性的研究方法，通过计算物种多样性指数，如 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数等，来对蝇类物种多样性进行分析，并对蝇类的区系成

分及类群的相似性进行分析。如季延娇和王明福（2013）通过计算物种的 Shannon-Wiener 指数和优势度指数，对宁夏六盘山国家级自然保护区有瓣蝇类的物种多样性进行了研究，并分析了有瓣蝇类的区系成分多样性；陈鹏等（2013）运用多样性指数法分析了滇西南实蝇的种类及其多样性，并对不同研究地点实蝇类群的相似性进行了分析。国外生态学者研究物种多样性时，多使用典范排序法来分析整个群落组成数据。典范排序法用到的非对称型典范分析是典范冗余分析（Redundancy analysis，RDA）和典范对应分析（Canonical correspondence analysis，CCA）。典范冗余分析（RDA）是由多元回归到多个因变量模型的直接推导（Legendre and Legendre，1998）。在 Canoco 软件包和 R 统计软件（R Development Core Team，2013）的“vegan”包中有这些分析。生态学家 Legendre（1990）将这一方法应用到物种-环境关系中，并逐步发展成在环境和空间组分进行变异分解的方法。变异分解就是将多样性指数或群落组成数据表的总方差无偏分解成由各解释变量所决定的子方差，得出每个物种对于环境和空间变化的反应信息（Legendre，2007）。通过变异分解我们可以将物种分布的总变化量分解为四个部分：由空间变量单独对物种分布的解释量；由空间变量和环境变量共同对物种分布的解释量；由环境变量单独对物种分布的解释量；不能解释的物种分布变量（Borcard and Legendre，1994；Peres-Neto *et al.*，2006）。

本研究运用生物多样性的分析方法来研究早竹林内蝇类的物种多样性，并运用变异分解的方法分析环境变量和空间变量对物种多样性的影响，对预防早竹林内蝇类的为害、减少退笋率、提高种植早竹的经济效益具有重要的意义。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究地点位于江苏省南京市高淳县大荆山林场，经纬度为 119°04′11″E，31°23′58″N，属丘陵山区。高淳县位于江苏省西南端，北接溧水区，东邻溧阳，西部及南部与安徽的当涂、宣州和郎溪 3 县(市)毗邻。属北亚热带和中亚热带过渡季风气候区，四季分明，雨量充沛，年均气温 15.9℃，年均降雨量 1 157 mm，平均年日照时数 2 090 h，无霜期 241 d，平均相对湿度 79%。土壤主要为黄壤，pH 值为 5～7。高淳县 1995 年开始从浙江德清引种栽培早园竹，目前，该县共有早竹林 1 000 hm^2，主要分布在东坝、桠溪、漆桥、大荆山林场和付家坛林场，其中，大荆山林场共有 13.33 hm^2 左右，且大荆山林场的早竹种植均使用了砻糠覆盖技术。

1.2　研究方法

1.2.1　蝇类的采集和鉴定　于 2014 年 4 月（早竹发笋期）采用黄板诱捕法（黄板规格为长 30 cm，宽 20 cm）对高淳县大荆山林场早竹林内的蝇类进行了采集。在大荆山林场内，选取几块具有代表性的早竹林，在早竹林内随机布设 40 个黄板，每个黄板相互间距至少 3 m（图 1），其中黄板 1～10 所在早竹林靠近林地边缘，其周围为农用地。将黄板用铁丝固定在早竹距地面 30 cm 处，然后在 4 月 7 日—27 日之间每隔 4 d 去更换一次黄板，总共调查了 5 次，将换下的黄板装入自封袋带回实验室，检查记录每块黄板上蝇类的种类和数量。

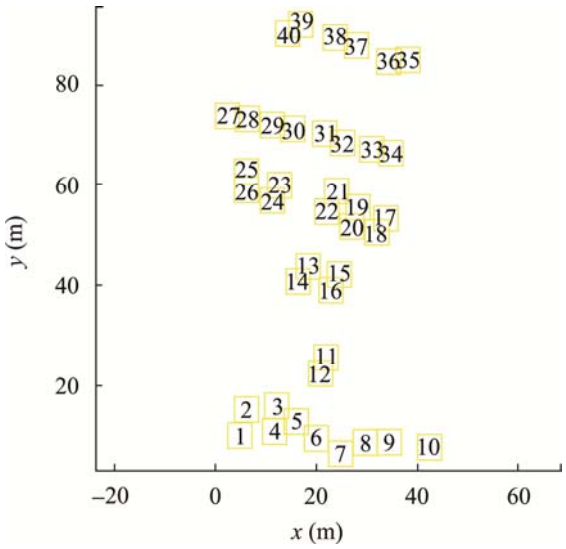

图 1　40 个黄板布设样点的空间分布图

Fig. 1　Spatial distributions of the sampled 40 yellow sticky traps

蝇类的鉴定主要由中国科学院上海生命科学院昆虫博物馆的朱卫兵博士完成，其中涉及到水虻科蝇类的鉴定由贵州大学杨再华博士帮助完成。

1.2.2 环境因子的选择和测定 根据早竹笋的发笋规律，在 4 月 25 号以后早竹发笋数量逐渐减少趋于零，因此在第 4 次取样时（4 月 23 日），对环境因子进行测定。统计每个黄板周围 1.5 m 半径范围内的成竹数量以及幼笋（高度小于 0.8 m）和成笋（高度大于 0.8 m）数量；用钢卷尺测量成竹枝下高，实际操作时，截取一根长 1.5 m 的竹秆，以黄板所在位置为圆心旋转 360°，统计该范围内的上述指标。同时对每个黄板进行平面坐标定位，得出每个黄板的平面坐标 x 和 y（Legendre，1990），并测量黄板距林地边缘的最短距离。此外，在每个黄板附近，用容积为 100 cm^3 环刀取土（0～20 cm），带回实验室，取 15 g 土壤称其鲜重 m_1，然后放在 105 ℃的烘箱内烘干至恒重并称烘干后的质量为 m_2，由公式（m_1-m_2）/m_1×100%来计算土壤含水量；并用电位法（全国农业技术推广服务中心，2006）测定土壤 pH 值。

1.2.3 数据处理

（1）物种的多样性分析：分析了每一次调查的 40 个黄板上蝇类的物种多度和物种丰富度（张金屯，2011），并对 Shannon-Wiener 指数（H'）进行了分析，其计算公式为：

$$H' = -\sum_{i=1}^{n}(P_i lnP_i) \quad (i = 1,\ 2,\ 3,\ \cdots,\ n)$$

式中，H' 为物种多样性指数，n 为物种数目，P_i 为第 i 个物种个体数量占所有物种个体总数量的比例（Magurran，1988；马克平和刘玉明，1994）。

为了检验每两次调查的蝇类多样性指数之间是否有显著性的差异，运用自举法中更稳健的分析方法 BC_a 法（Efron and Tibshirani，1994；Sandhu *et al.*，2011；Shi *et al.*，2014），求得每两次调查的均值差，并求其 95%置信区间，由此来分析两次调查的各指数是否有显著性差异。

（2）环境变量和空间变量对 Shannon-Wiener 多样性指数的影响分析：首先用多元线性回归以 Shannon-Wiener 多样性指数为因变量，以所有的环境变量和空间变量为自变量来分析其对物种 Shannon-Wiener 多样性指数的影响；然后，为了进一步阐释主要的环境变量与物种多样性之间的关系，用广义可加模型（Hastie and Tibshirani，1990；Wood，2006）分析成竹数量、幼笋数量以及老笋数量对 Shannon-Wiener 多样性指数的影响。

（3）空间变量和环境变量对蝇类 β 多样性（Borcard *et al.*，2011）的影响及其影响程序分析：使用变异分解的方法来分析环境变量和空间变量对蝇类 β 多样性的影响。在进行排序分析之前，先用趋势分析（DCA）来判断是选择线性模型还是单峰模型的排序方法，如果 DCA 排序前 4 个轴中最大值超过 4，则选择单峰模型；如果是小于 3，则选择线性模型更好（Borcard *et al.*，2011；Lepx and Smilauer，2003）；如果介于 3~4 之间，单峰模型和线性模型都可行。通过主分量分析（PCA）得出不同蝇类与黄板之间的关系，然后运用典范冗余分析（RDA）来考虑物种分布与环境因子的关系，最后用约束排序的偏分析方法得出空间变量和环境变量对物种分布的解释量。

以上数据分析及作图均采用统计软件 R 3.0.0 完成（R Development Core Team，2013）。

2 结果与分析

2.1 蝇类的种类及其种群动态变化趋势

在大荆山林场早竹林内诱捕到的蝇类共有 8 科 10 种，详见表 1。不同的蝇类其数量随调查时间有不同的变化，几种主要蝇类的数量变化情况如图 2 所示。由图 2 可以看出，茎蝇科的竹笋绒茎蝇 *Chyliza bambusae* 的数量占绝大多数，5 次共诱捕到 5 993 只，占捕获数量的 59.50%；其次是江苏泉蝇 *Pegomyia kiangsuensis*，占捕获总量的 17.14%；常齿股蝇 *Hydrotaea dentipes*、横带花蝇 *Anthomyia illocata*、黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteata*、基额水虻 *Craspedometopon basale*、日本拟羽角实蝇 *Paragastrozona japonica*

占捕获总量的比例分别为 9.4%、8.48%、2.76%、1.78%、1.65%，而巨尾阿丽蝇 *Aldrichina grahami*、黑尾黑麻蝇 *Helicophagella melanura* 和丝光绿蝇 *Lucilia sericata* 的数量很少，偶尔有几只出现。5 次调查的优势种均为竹笋绒茎蝇。调查结果还显示，每种蝇类数量最多点出现的时间也不相同，竹笋绒茎蝇和横带花蝇均在 4 月 15 日（第 2 次调查）出现最大值，而江苏泉蝇在 4 月 19 日（第 3 次调查）数量最多，表明 4 月 11—15 日是蝇类活动的一个高峰期。常齿股蝇、黑带食蚜蝇数量最多点出现在 4 月 23 日，而日本拟羽角实蝇第一次调查时数量最多，随后几次依次减少。

2.2　多样性分析

大荆山林场早竹林内不同蝇类多样性指标的箱线图如图 3 所示。由 BC_a 法分析结果显示，每两次调查的物种多度、物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数之间均有显著性差异。从图 3 可以看出，4 月 15 日捕获的蝇类数量最多，物种丰富度也最大，但是 Shannon-Wiener 指数却较小。4 月 27 日（第 5 次调查）蝇类的多度最小，4 月 11 日（第 1 次调查）蝇类的丰富度最小。由图 3（C）可以看出，早竹林内蝇类多样性的 Shannon-Wiener 指数的最大值出现在第 4 次调查时，即 4 月 19—23 日早竹林内的蝇类多样性最大。

2.3　空间和环境变量对物种多样性的影响

2.3.1　空间和环境变量对 Shannon-Wiener 指数的影响　根据上述分析，第 4 次调查的早竹林内蝇类的 Shannon-Wiener 指数最大，故采用第 4 次调查的数据来分析空间和环境变量对 Shannon-Wiener 指数的影响。以 40 个样点的 Shannon-Wiener 指数为因变量，以空间变量［每个样点的空间坐标 *x*、*y*、样点距林地边缘最小距离（DIS）］和环境变量［土壤含水量（WAT）、土壤 pH、老笋数量（HS）、幼笋数量（LS）、成竹数量（ADU）、黄板所在位置成竹枝下高（HEI）］为自变量，进行多元线性回归分析，结果见表 2。

由模型拟合结果可知，线性回归模型的决定系数 R^2=0.4822($F_{9, 30}$=3.104，P<0.01)表明用多元线性回归模型来拟合空间和环境变量与 Shannon-Wiener 指数之间的关系是合理的。由表 2 可知，空间变量 *x*、*y*、DIS 及土壤含水量、土壤 pH、老笋数量、成竹枝下高对蝇类多样性影响不显著；黄板周围 1.5 m 范围内的幼笋数量对蝇类多样性影响显著；成竹数量对蝇类多样性影响极显著。

表 1　大荆山林场早竹林内蝇类的种类
Table 1　Name list of flies in the Dajingshan forest farm

物种 Species	科 Family
竹笋绒茎蝇 *Chyliza bambusae*	茎蝇科 Psilidae
横带花蝇 *Anthomyia illocata*	花蝇科 Anthomyiidae
江苏泉蝇 *Pegomyia kiangsuensis*	花蝇科 Anthomyiidae
基额水虻 *Craspedometopon basale*	水虻科 Stratiomyidae
常齿股蝇 *Hydrotaea dentipes*	蝇科 Muscidae
日本拟羽角实蝇 *Paragastrozona japonica*	实蝇科 Tephritidae
巨尾阿丽蝇 *Aldrichina grahami*	丽蝇科 Calliphoridae
黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteata*	食蚜蝇科 Syrphidae
黑尾黑麻蝇 *Helicophagella melanura*	麻蝇科 Sarcophagidae
丝光绿蝇 *Lucilia sericata*	丽蝇科 Calliphoridae

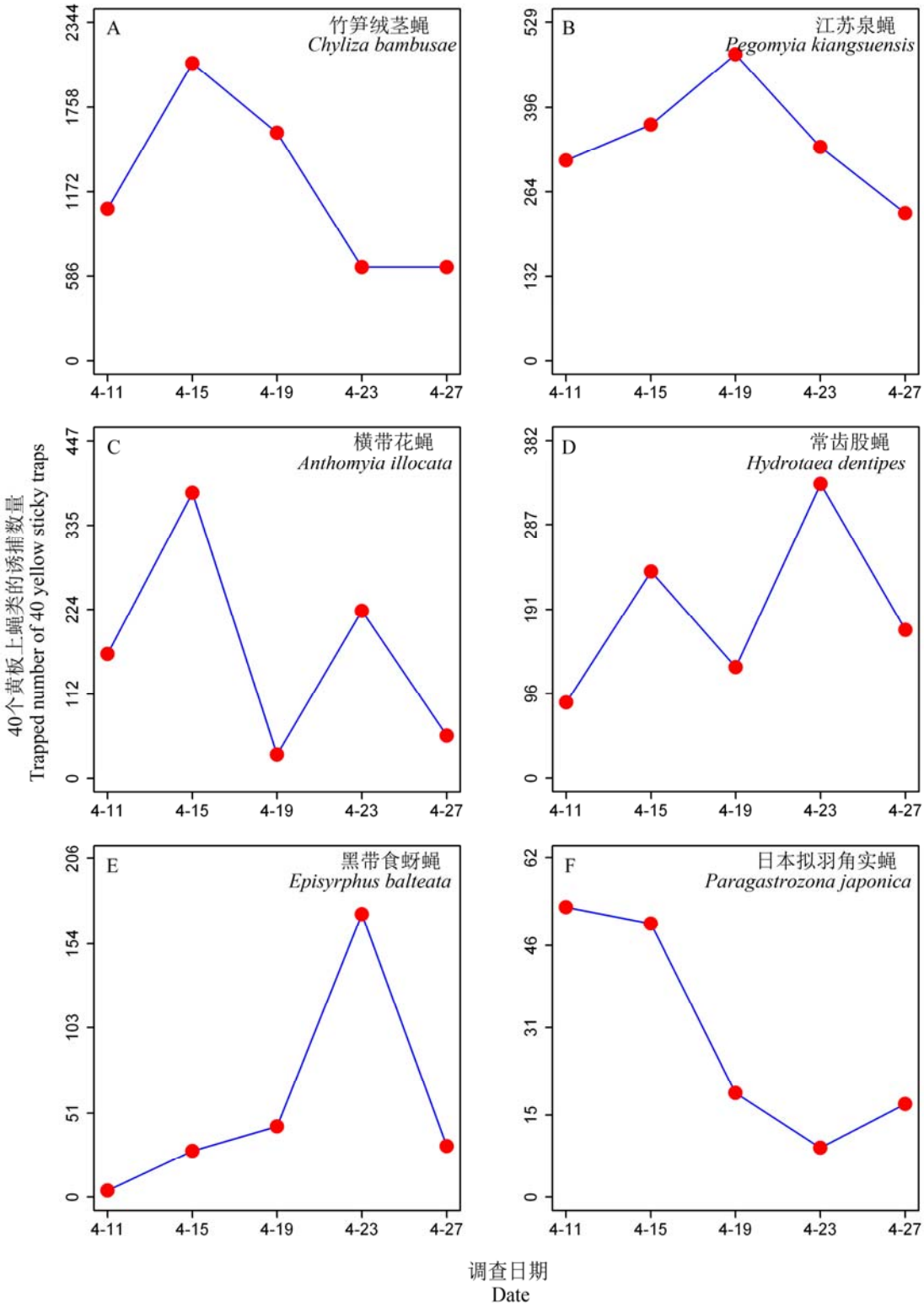

图 2　5 次调查的几种主要蝇类数量变化情况

Fig. 2　Variation of the number of flies in five investigations

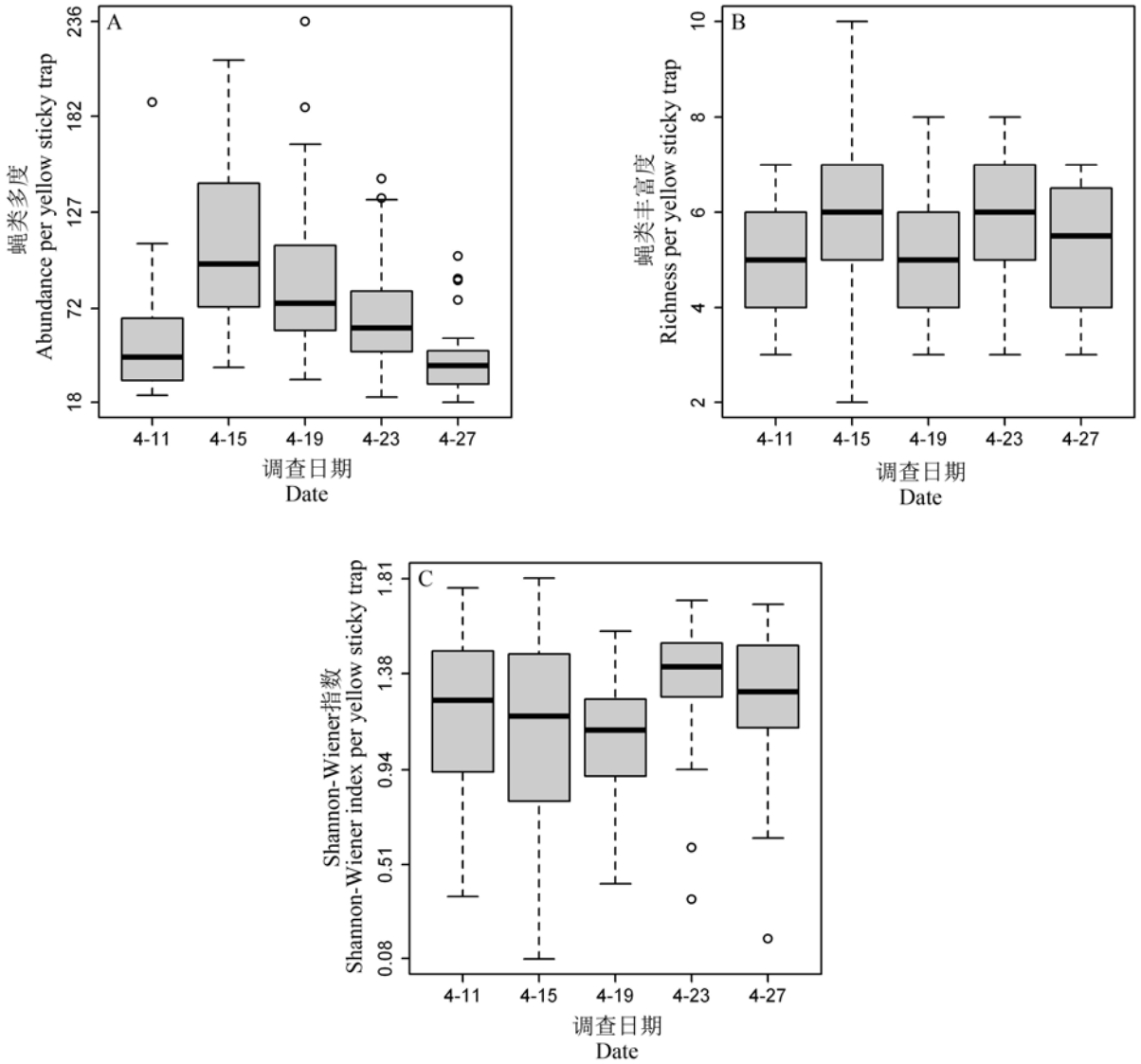

图 3　不同蝇类多样性指标的箱线图

Fig. 3　Box-plots of different diversity indicators of flies

A. 物种多度；B. 物种丰富度；C. Shannon-Wiener 指数。箱体内的粗线表示数据的中位数。箱体上下边缘分别表示数据的上下四分位数。由箱体边缘向上下延伸的垂线被称为“触须”，表示数据正常的散布范围。数据如无异常值，触须上下外端点分别表示数据的最大值和最小值；数据如有异常值（即图中小圆圈），触须外端点表示 1.5 倍四分位数的间距。

A. Bundance; B. Richness; C. Shannon-Wiener index. The dark line in a box represents the median of data. The upper and lower edges of a box represent the upper and lower quartiles of data, respectively. The extended vertical dashed lines from the upper and lower edges of a box are referred to as “whiskers”, which are used to exhibit the normal range of data. If there are no outliers in data, the outmost upper and lower hinges of whiskers represent the maximum and minimum values of data; if there are outliers in data (i.e., the small open circles), they represent the 1.5-fold interval between two upper and lower quartiles.

此外，结果显示成竹数量的参数估计值为－0.032178，说明成竹数量越多，蝇类的物种多样性越小。为了进一步阐明成竹数量与物种多样性之间的关系，使用广义可加模型分析了成竹数量与物种多样性的关系，其偏残差图如图 4 所示。

由图 4 可以看出，黄板周围 1.5 m 范围内的成竹数量与物种多样性的关系是非线性的，随着成竹数量的变化，物种多样性先保持平缓而后逐渐降低。当黄板周围 1.5 m 范围内的成竹数量小于 10 时，物种多样性保持相对稳定；而当成竹

数量大于 10 时，物种多样性开始降低，且当成竹数量大于 15 时，物种多样性降到最低趋于零。

2.3.2 空间变量和环境变量对蝇类 **β** 多样性的影响

运用变异分解的方法来分析空间变量和环境变量对蝇类 β 多样性的影响，趋势分析结果表明 DCA 排序前四个轴中的最大值为 2.3358，因此本研究选择线性模型的主分量分析（Principal components analysis，PCA）和典范冗余分析（Redundancy analysis，RDA）。首先，对 40 个黄板的蝇类物种矩阵数据进行 PCA 分析，生成的排序图如图 5 所示。

图 5 中显示了不同蝇类与黄板之间的关系，从图 5 可以看出，物种 1（竹笋绒茎蝇）与大多数黄板之间均有相关性，可见竹笋绒茎蝇为优势种。物种 8（黑带食蚜蝇）更偏向于黄板 1；物种 7（巨尾阿丽蝇）和物种 9（黑尾黑麻蝇）偏向于黄板 38；而物种 4（基额水虻）、物种 5（常齿股蝇）更偏向于黄板 10、15、31，这一现象可能与黄板的分布位置有关。

然后，进一步使用典范冗余分析（RDA）来考虑物种分布与环境因子的关系，即在 PCA 排序过程中加入空间和环境因子进行线性回归最终得到排序结果。首先，将所有的空间变量和环境变量一起输入 R-vegan 进行 RDA 排序，得到的 RDA 的总的特征值（Total inertia）为 470.9，约束特征值为（Constrained inertia）225.3，据此可以计算出所有空间变量和环境变量对蝇类物种分布的解释量为 225.3/470.9=47.84%。然后，分别以空间变量和环境变量为主变量，以环境变量和空间变量为协变量，用约束排序的偏分析方法（Partial methods）进行排序分析，最终得出空间变量和环境变量对物种分布的解释量。物种与环境变量的偏 RDA 排序图如图 6 所示。

由图 6 可以看出，黄板周围 1.5 m 范围内的成竹数量和幼笋数量与物种分布的相关性较大，老笋数量、土壤含水量、土壤 pH 以及黄板所在位置成竹枝下高与物种分布的相关性很小。由于环境变量对物种多样性的有着重要的影响，检验了每一个环境变量对物种分布影响的显著性，其分析结果见表 3。

由表 3 可知，土壤含水量、土壤 pH、老笋数量和黄板所在位置成竹枝下高对物种分布影响不显著，黄板周围 1.5 m 范围内的成竹数量对物种分布有显著性影响，此结果与上述多元线性回归分析结果相似，但幼笋数量无显著性影响。

表 2 多元线性回归参数估计

Table 2 Parametric estimate of multivariate linear regression

自变量 Independent variable	参数的估计值 Estimate	参数估计值的标准误差 Standard error	*t* 值 *t* value	*P* 值 *Pr* (> |*t*|)
Intercept	1.427867	0.599492	2.383	< 0.05
x	− 0.005755	0.003693	− 1.559	> 0.05
y	− 0.00152	0.002013	− 0.755	> 0.05
DIS	− 0.011786	0.30442	− 0.387	> 0.05
WAT	− 0.166601	1.432203	− 0.116	> 0.05
pH	− 0.001442	0.62895	− 0.023	> 0.05
HS	0.016969	0.018557	0.914	> 0.05
LS	0.014096	0.006546	2.154	< 0.05
ADU	− 0.032178	0.008634	− 3.727	< 0.01
HEI	0.22036	0.188145	1.171	> 0.05

DIS 代表样点距林地边缘最小距离；WAT 代表土壤含水量；HS 代表老笋数量；LS 代表幼笋数量；ADU 代表成竹数量；HEI 代表黄板所在位置成竹枝下高。

DIS represents the minimum distance from the forest edges of the sample; WAT represents soil water content; HS represents number of adult bamboo shoots; LS represents number of young shoots; ADU represents number of adult bamboo; HEI represents under branch height of adult bamboo.

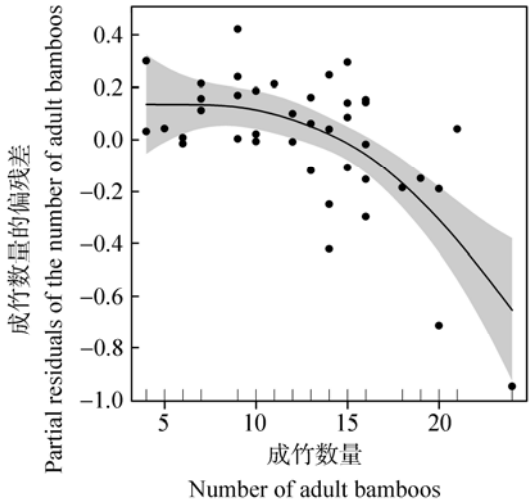

图 4　黄板周围 1.5 m 范围内成竹数量的偏残差图

Fig. 4　Partial residual plot of the number of adult bamboos with 1.5 meter radius around any a yellow sticky trap

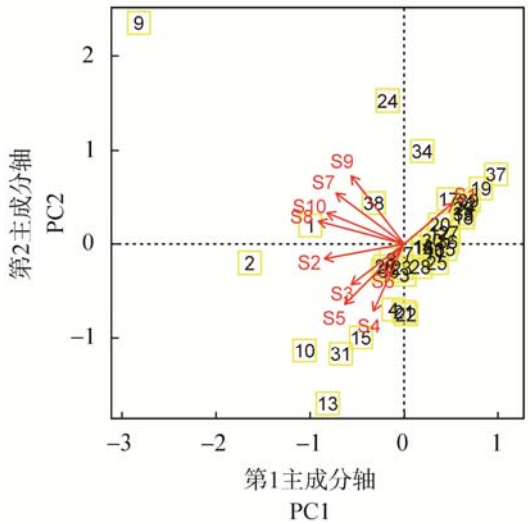

图 5　40 个黄板上蝇类数据矩阵 PCA 排序图

Fig. 5　PCA ordination plot of flies data matrix on the 40 yellow sticky traps

数字 1~40 表示 40 个黄板的序号。S1：物种 1 竹笋绒茎蝇；S2：物种 2 横带花蝇；S3：物种 3 江苏泉蝇；S4：物种 4 基额水虻；S5：物种 5 常齿股蝇；S6：物种 6 日本拟羽角实蝇；S7：物种 7 巨尾阿丽蝇；S8：物种 8 黑带食蚜蝇；S9：物种 9 黑尾黑麻蝇；S10：物种 10 丝光绿蝇。

Figures 1–40 represent the serial number of 40 yellow stichy traps. S1: Species 1, *Chyliza bambusae*; S2: Species 2, *Anthomyia illocata*; S3: Species 3, *Pegomyia kiangsuensis*; S4: Species 4, *Craspedometopon basale*; S5: Species 5, *Hydrotaea dentipes*; S6: Species 6, *Paragastrozona japonica*; S7: Species 7, *Aldrichina grahami*; S8: Species 8, *Episyrphus balteata*; S9: Species 9, *Helicophagella melanura*; S10: Species 10, *Lucilia sericata*.

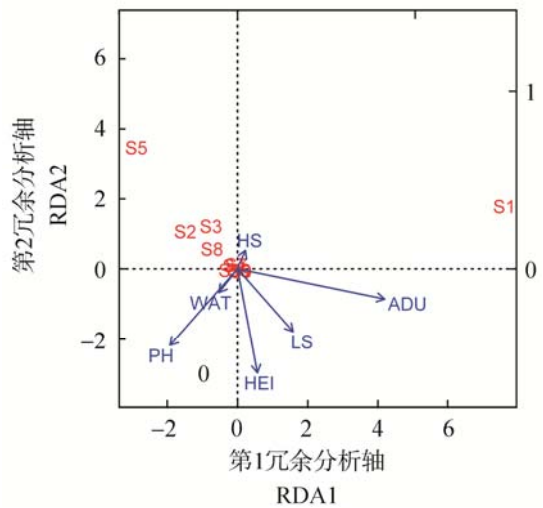

图 6　物种与环境因子的偏 RDA 排序图

Fig. 6　Partial RDA ordination plot of fly species and environmental variations

HS、ADU、LS、HEI、WAT 见表 2 注释。S1：物种 1 竹笋绒茎蝇；S2：物种 2 横带花蝇；S3：物种 3 江苏泉蝇；S4：物种 4 基额水虻；S5：物种 5 常齿股蝇；S6：物种 6 日本拟羽角实蝇；S7：物种 7 巨尾阿丽蝇；S8：物种 8 黑带食蚜蝇；S9：物种 9 黑尾黑麻蝇；S10：物种 10 丝光绿蝇。

HS, ADU, LS, HEI and WAT are same with Table 2 . S1: Species 1, *Chyliza bambusae*; S2: Species 2, *Anthomyia illocata*; S3: Species 3, *Pegomyia kiangsuensis*; S4: Species 4, *Craspedometopon basale*; S5: Species 5, *Hydrotaea dentipes*; S6: Species 6, *Paragastrozona japonica*; S7: Species 7, *Aldrichina grahami*; S8: Species 8, *Episyrphus balteata*; S9: Species 9, *Helicophagella melanura*; S10: Species 10, *Lucilia sericata*.

图 7 直观地表示了空间变量和环境变量对物种分布的解释量。结果显示：由空间变量单独对物种分布的解释量为 40.2/470.9=8.54%；由空间变量和环境变量共同对物种分布的解释量为 47.84%–8.54%–28.84%=10.46%；由环境变量单独对物种分布的解释量 135.8/470.9=28.84%；不能解释的物种分布变量为 52.16%。

3　讨论

早竹出笋一般不能全部生长成竹，不能成竹的笋称为退笋，导致退笋原因有很多，据群众反映主要为养分不足、气候影响、虫害影响等，其中虫害的影响包括竹笋夜蛾和蝇类的寄生（徐天

表 3 环境变量对物种分布影响的显著性检验

Table 3 Significance test on the effects of environmental variations on species distributions

变量 Variable	冗余分析 1 RDA1	冗余分析 2 RDA2	决定系数 r^2	*P* 值 *Pr*(>*r*)
WAT	- 0.9733	- 0.22953	0.0061	0.897
pH	- 0.98142	- 0.19188	0.0772	0.22
HS	0.8383	0.54521	0.0018	0.954
LS	0.9453	- 0.32621	0.0758	0.239
ADU	0.98815	- 0.15351	0.3602	<0.05
HEI	0.74592	- 0.66603	0.0557	0.351

WAT 代表土壤含水量；HS 代表老笋数量；LS 代表幼笋数量；ADU 代表成竹数量；HEI 代表黄板所在位置成竹枝下高。
WAT represents soil water content; HS represents number of adult bamboo shoots; LS represents number of young shoots; ADU represents number of adult bamboo; HEI represents under branch height of adult bamboo.

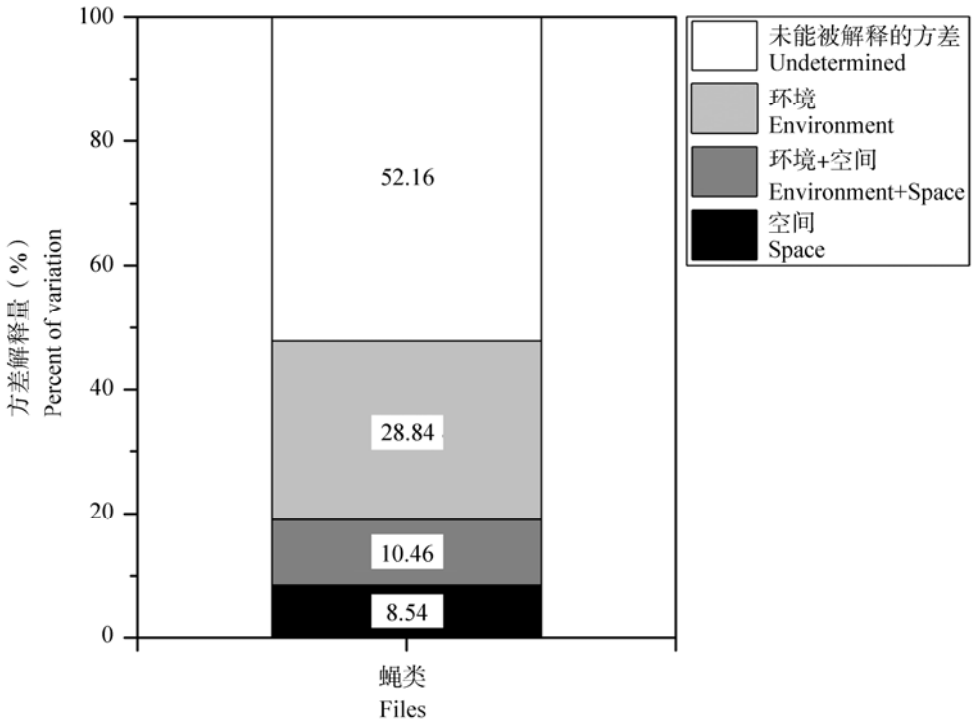

图 7 蝇类物种数量矩阵的变异分解

Fig. 7 Variation partitioning of the flies data matrix

森和葛振华，1966)。在高淳大荆山林场早竹林内捕获的蝇类中，竹笋绒茎蝇、江苏泉蝇、横带花蝇的数量最多，占了所捕获蝇类总量的85.12%。中国林业科学研究院亚热带林业研究所徐天森发现了竹子新害虫——竹笋绒茎蝇以所为害的寄主植物为名，其幼虫在地下为害竹笋嫩根（杨集昆和王心丽，1988)。中国科学院华东昆虫研究所的范滋德（1964）鉴定了华东地区为害竹笋的泉蝇属的两个新种——毛笋泉蝇和江苏泉蝇，江苏泉蝇产于江苏南京和松江等地，其

幼虫为害竹笋相当严重。此两者的研究可以证明竹笋绒茎蝇和江苏泉蝇对早竹笋的危害性。关于横带花蝇，究竟是否直接危害早竹笋，目前尚无确凿的证据。我们研究的早竹林覆盖了大量的稻谷壳，一些家禽或者野生鸟类可能进入林中寻找残存稻谷和栖息于稻谷壳内的小型节肢动物并留下粪便，横带花蝇幼虫是食腐的，很可能是这些粪便引来了横带花蝇，但不排斥早竹笋退笋腐烂为横带花蝇幼虫提供食物来源和栖息环境，相关研究有待进一步开展。

常齿股蝇属于双翅目蝇科齿股蝇属，成蝇活动范围广，能传播疾病（师鉴等，2006）。齿股蝇属幼虫滋生于人、畜粪便和腐殖质中，成蝇长到人、畜粪便上，亦到水果上，起传播疾病的作用，在我国主要分布于黑龙江、吉林、辽宁、河北、山东、上海、江苏等地（范滋德，1992）。日本拟羽角实蝇属于双翅目，实蝇科，为许多水果和蔬菜类农作物的危险性害虫，其寄主尚不明确，主要分布于中国浙江（杭州）、台湾；韩国、俄罗斯（远东地区）、日本等地（陈俊华等，2006）。基额水虻主要分布在日本、朝鲜半岛、俄罗斯靠近朝鲜一带，中国仅天目山有记录（杨再华，2010）。在本次调查中，常齿股蝇和日本拟羽角实蝇两者占捕获总量的比例很大，基额水虻总共有 179 只，其出现并非偶然，但是目前还没有研究证明其是否会对竹笋产生危害。因此，我们说常齿股蝇、日本拟羽角实蝇和基额水虻可能是为害早竹笋的蝇类，但是造成此次调查数量偏高是否是因为常齿股蝇具有趋黄性或趋腐蚀性等，还有待进一步研究来证明。

黑带食蚜蝇属于双翅目，食蚜蝇科，是多种蚜虫的重要天敌（李定旭等，1996）。在早春 3 月小麦田间或春季油菜、菊科植物等开花季节，黑带食蚜蝇成虫活动活跃，4—5 月为盛发阶段（何继龙等，1992；霍科科和张宏杰，2006）。在我们调查中，黑带食蚜蝇占了总量的 2.76%，而我们调查时期 4 月份正值当地小麦生长时期和油菜开花时期，且早竹林靠近油菜地，由此可推测黑带食蚜蝇是由油菜地进入到早竹林内的，可能并非危害早竹笋的蝇类。

黑尾黑麻蝇在自然界中分布很广，常滋生于人、家畜粪便及人类生产的垃圾中（薛瑞德和张文忠，1983；迟仁平，1998）。有研究表明，黑尾黑麻蝇、巨尾阿丽蝇和丝光绿蝇为常见的嗜尸性苍蝇（杨立等，2010）。此外，学者对居民区、餐饮外环境、绿化带和农贸市场这四种环境类型下的蝇类密度的调查结果发现，捕获的蝇类中以丝光绿蝇为主，其次是厩腐蝇、巨尾阿丽蝇、家蝇、黑尾黑麻蝇（唐明和于世洪，2011）。由于调查的早竹林靠近居民区，且总共捕获的数量很少，因此，我们认为黑尾黑麻蝇、巨尾阿丽蝇和丝光绿蝇不是为害早竹笋的蝇类，而是由居民区扩散到竹林并被零星捕获。

综上所述，我们研究认为，竹笋绒茎蝇、江苏泉蝇、横带花蝇是为害早竹笋的主要蝇类；常齿股蝇、日本拟羽角实蝇、基额水虻可能是为害早竹笋的蝇类，但有待进一步研究；黑带食蚜蝇、黑尾黑麻蝇、巨尾阿丽蝇和丝光绿蝇不是为害早竹笋的蝇类。

本研究结果显示，环境变量对物种多样性所单独解释的量比由空间变量单独解释的量高出了 70.39%，可见环境变量是影响早竹林内蝇类多样性的主要因素。黄板周围 1.5 m 范围内的成竹数量对物种多样性的影响最大，且由成竹数量的偏残差图得知成竹数量越多物种多样性越小。这可能是因为成竹数量越少，竹林的郁闭度越小，竹林更开阔，这样更多种蝇类可以飞进林中，使得蝇类的物种多样性增加；而当成竹数量增多时，竹林的郁闭度增大，许多蝇类难以进入竹林，从而导致物种多样性的降低，但是物种多样性的减少并不意味着物种数量的减少。此外，环境变量中的土壤含水量、土壤的 pH 值等对蝇类的多样性没有显著性影响，这可能是由于蝇类大多是栖息于早竹幼笋里（徐天森和葛振华，1966），而不完全栖息于地面，因此土壤各因素相对幼笋数量和成竹数量而言对蝇类的影响较少。

本研究中运用了多元线性回归和偏 RDA 分析方法分析了环境变量对物种多样性的影响。前者研究结果显示黄板周围 1.5 m 范围内的成竹数量和幼笋数量对多样性有显著影响，后者分析结

果发现黄板周围 1.5 m 范围内的成竹数量对多样性有影响，而幼笋数量对物种多样性没有显著性影响。且多元线性回归分析的决定系数 R^2 达到了 0.4822，而偏 RDA 分析中环境变量和空间变量对物种多样性的解释量也达到了 47.84%，可见两种分析方法均具有可行性，但分析结果不完全一致，可能是因为两者分析的指标不一样，多元线性回归中使用的是单个因变量来分析环境变量对物种多样性的影响，而偏 RDA 分析中是以多个物种的数据为因变量。作者认为，对于这两种分析方法的比较值得进一步研究。

变异分解已成为利用环境和空间变量解释 β 多样性的一种方法，国外不少学者应用该方法对影响不同生物群体 β 多样性的环境和空间信息进行了分析。如 Borcard 等（1992）及 Borcard 和 Legendre（1994）使用变异分解的方法研究了泥炭沼泽中甲螨的物种多样性与环境变量和空间变量的关系；Peres-Neto 等（2006）使用典范冗余分析（RDA）和典范对应分析（CCA）研究了环境变量和空间变量对物种分布的解释量。而我国对于分析环境因子对某一变量的影响大多数使用的是主成分分析（PCA），如邓送求等（2009）用主成分分析研究了海拔、坡度、含石率等对林分蓄积量的影响。刘桂华等（2001）用 PCA 法分析了土壤因子和地形因子对毛竹生产力的影响。国内对于 RDA 分析方法的使用报道较少，尤其是应用该方法多蝇类多样性的研究更少。对于运用 RDA 方法来研究蝇类多样性或者其它方面的研究值得推广。

本研究还存在不足之处，例如在选择影响蝇类多样性的环境变量时，还有很多环境变量由于条件限制未考虑，如气候条件、光照、土壤养分、覆盖条件等，变异分解结果中不能够被环境变量和空间变量所解释的部分，可能是由我们忽略的这些环境变量所引起的。此外，本研究所使用的黄板大小是 30 cm×20 cm 的，放置位置在距地面 30 cm 处，黄板的大小、距地面的高度等是否对蝇类的多样性有影响需要进一步的研究。

致谢：本研究在准备过程中得到了中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室戈峰主任、中国科学院上海昆虫博物馆殷海生馆长、贵州大学杨再华博士、杨茂发教授等极富价值的帮助。南京林业大学竹类研究所硕士研究生董晓波、秦鹏参与了野外调查，南京市高淳区大荆山林场孙秀春、王正萌先生对本次试验给予了大力支持，在此一并感谢。

参考文献 (References)

Bai HQ, 2008. Study on bamboo-shoot pests of *Phyllostachys praecox* and control techniques in Deqing county. Master's degree dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [白洪青, 2008. 德清县早竹笋期害虫及防治技术研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学.]

Bao YX, 2001. Study of fly species diversity in Jinhua urban area. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 28(5): 563–566. [鲍毅新, 2001. 金华城区蝇类多样性的研究. 浙江大学学报(理学版), 28(5): 563–566.]

Borcard D, Gillet F, Legendre P, 2011. Numerical Ecology with R. New York: Springer. 117–290.

Borcard D, Legendre P, 1994. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using oribatid mites (Acari, Oribatei). *Environmental and Ecological Statistics*, 1(1): 37–53.

Borcard D, Legendre P, Drapeau P, 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73(3): 1045–1055.

Chen JM, Li YL, Gao SW, Li PH, Wei L, Zhou TX, Cai HZ, Zhang SK, Zhang JQ, 2009. Research to biological diversity and carries the pathogenic micro-organisms of flies at Mawei Port. *Journal of Inspection and Quarantine*, 19(6): 21–27. [陈佳木, 李亚伦, 高思维, 李平航, 危玲, 周天喜, 蔡亨忠, 张述铿, 张建庆, 2009. 马尾口岸蝇类生物多样性和携带病原微生物情况的研究. 检验检疫学刊, 19(6): 21–27.]

Chen JH, Xu ZH, Chen WM, Jin GL, Wang ZL, 2006. Notes on five species of fruit flies in Zhejiang province. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 18(1): 28–31. [陈俊华, 徐志宏, 陈为民, 金国龙, 王志龙, 2006. 浙江省五种实蝇记述. 浙江农业学报, 18(1): 28–31.]

Chen P, Liu L, Yuan RL, Yang S, 2013. Analysis on species diversity of fruit fly in southwestern Yunnan. *Journal of West China Forestry Science*, 42(4): 8–13. [陈鹏, 刘莉, 袁瑞玲, 杨珊, 2013. 滇西南实蝇的种类及其多样性分析. 西部林业科学, 42(4): 8–13.]

Cheng XL, Zheng S, Ao H, Wang MF, 2008. Preliminary report of

species diversity in Calyptrate in Manghe nature reserve of Shanxi province. *Agricultural Science & Technology and Equipment*, (6): 14–17. [程晓兰, 郑爽, 敖虎, 王明福, 2008. 山西省蟒河自然保护区有瓣蝇类物种多样性初探. 农业科技与装备, (6): 14–17.]

Chi RP, 1998. Study on the breeding habits of *Helicophagella melanura*. *Entomological Knowledge*, 35(3): 164–165. [迟仁平, 1998. 黑尾黑麻蝇繁殖习性的研究. 昆虫知识, 35(3): 164–165.]

China Agricultural Technology Extension Service Center, 2006. Technical Specification for Soil Analysis, 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press. 61–67. [全国农业技术推广服务中心, 2006. 土壤分析技术规范(2 版). 北京: 中国农业出版社. 61–67.]

Deng SQ, Yan JF, Guan QW, Yu SQ, 2009. Cluster analysis on site type classification of scenic forest. *Journal of Nanjing Forestry University* (*Natural Science Edition*), 33(3): 73–77. [邓送求, 闫家锋, 关庆伟, 于水强, 2009. 基于聚类分析的风景林立地类型划分. 南京林业大学学报(自然科学版), 33(3): 73–77.]

Efron B, Tibshirani RJ, 1994. An Introduction to the Bootstrap. New York: Chapman and Hall/CRC. 178–201.

Fan ZD, 1992. Key to the Common Flies in China. Beijing: Science Press. 210–392. [范滋德, 1992. 中国常见蝇类检索表. 北京: 科学出版社. 210–392.]

Fan ZD, 1964. Two new flies of the *Genus Pegomyia* R.–D., attacking bamboo shoot in east China (Diptera, Anthomyiidae). *Acta Entomological Sinica*, 13(4): 614–618. [范滋德, 1964. 华东地区为害竹筍的泉蝇属二新种 (双翅目: 花蝇料). 昆虫学报, 13(4): 614–618.]

Hastie TJ, Tibshirani RJ, 1990. Generalized Additive Models. London: Chapman and Hall. 136–171.

He JL, Sun XQ, Ye WJ, Shen LJ, Cai Y, Li ZH, 1992. Preliminary studies on the bionomics of the *Episyrphus balteatus* in Shanghai. *Journal of Shanghai Agricultural College*, 10(1): 35–43. [何继龙, 孙兴全, 叶文娟, 沈丽娟, 彩云, 李智华, 1992. 黑带食蚜蝇生物学的初步研究. 上海农学院学报, 10(1): 35–43.]

Huo KK, Zhang HJ, 2006. Identification of common *Syrphids* in farmland of Hanzhong and primary observations on their biological habits. *Journal of Shanxi University of Technology*, 22(1): 90–94. [霍科科, 张宏杰, 2006. 汉中农田常见食蚜蝇识别及其生物学习性初步观察. 陕西理工学院学报(自然科学版), 22(1): 90–94.]

Ji YJ, Wang MF, 2013. Species diversity of Calyptratae in Liupanshui national nature reserve of Ningxia, China. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 24(6): 494–502. [季延娇, 王明福, 2013. 宁夏六盘山国家级自然保护区有瓣蝇类物种多样性研究. 中国媒介生物学及控制杂志, 24(6): 494–502.]

Legendre P, 1990. Quantitative methods and biogeographic analysis // Evolutionary Biogeography of the Marine Algae of the North Atlantic. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. 9–34.

Legendre P, 2007. Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 31(5): 976–981. [Legendre P, 2007. β–多样性的研究: 应用多元回归和典范分析研究生态方差的分解. 植物生态学报, 31(5): 976–981.]

Legendre P, Legendre L, 1998. Numerical Ecology. Amsterdam: Elsevier. 579–594.

Lepx J, Smilauer P, 2003. Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO. Cambridge: Cambridge University Press. 50–51.

Li DX, Tian J, Zhang ZY, Chen GQ, 1996. Studies on the bionomics and predation effects of *Syrphus balteata* (Diptera: Syrphidae). *Natural Enemies of Insects*, 18(1): 26–34. [李定旭, 田娟, 张志勇, 陈根强, 1996. 黑带食蚜蝇生物学特性及捕食作用的研究. 昆虫天敌, 18(1): 26–34.]

Li MY, Wang MF, 2014. Faunal analysis and species diversity of Calyptratae in Wutai mountain area of Shanxi province. *Journal of Shenyang Normal University* (*Natural Science Edition*), 32(3): 332–336. [李明月, 王明福, 2014. 山西省五台山地区有瓣蝇类区系分析及物种多样性. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 32(3): 332–336.]

Liu GH, Song HY, Ma LM, 2001. Site classification of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* in Xiuning county. *Journal of Anhui Agricultural University*, 28(3): 263–266. [刘桂华, 宋怀宇, 马列明, 2001. 休宁县毛竹立地类型的划分. 安徽农业大学学报, 28(3): 263–266.]

Liu JQ, Li DL, Zhou RM, Li TQ, Wang GZ, Yuan ZL, Chang ZJ, 2011. Species diversity of Calyptratae in Songshan Shaolin temple scenic spots of Henan province. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 17(6): 446–448. [刘吉起, 李东丽, 周瑞敏, 李天全, 王广州, 袁中良, 常战军, 2011. 河南嵩山少林寺旅游景区有瓣蝇类物种多样性研究. 中华卫生杀虫药械, 17(6): 446–448.]

Liu L, 2012. Fruit fly species diversity in southwest region of Yunnan province. *Guizhou Agricultural Sciences*, 40(12): 82–87. [刘莉, 2012. 云南省西南地区实蝇类群的物种多样性. 贵州农业科学, 40(12): 82–87.]

Ma G, Ji YJ, Wang MF, 2014. Species diversity and faunal characteristics of Calyptratae from the Taiyue mountain area of Shanxi province, China. *Acta Parasitological et Medica Entomologica Sinica*, 21(1): 32–37. [马光, 季延娇, 王明福,

2014. 山西太岳山地区有瓣蝇类区系特征及物种多样性. 寄生虫与医学昆虫学报, 21(1): 32–37.]

Ma HM, Chen HY, Liu XQ, Tao HY, Guo YQ, 2009. Study on the composition, seasonal fluctuation and species diversity of the flies in Nanchang. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 20(5): 401–403. [马红梅, 陈海婴, 柳小青, 陶卉英, 郭学俭, 刘仰青, 2009. 南昌城区蝇类组成、季节消长及多样性研究. 中国媒介生物学及控制杂志, 20(5): 401–403.]

Ma KP, Liu YM, 1994. Approaches of biodiversity measurements: Ⅰ measurement method of α diversity. *Chinese Biodiversity*, 2(4): 231–239. [马克平, 刘玉明, 1994. 生物多样性的测度方法: Ⅰ α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2(4): 231–239.]

Magurran AE, 1988. Ecological Diversity and its Measurement. New Jersey: Princeton University Press. 1–192.

National Patriotic Health Campaign Committee, Ministry of Health, 2010. Regulations on the prevention and control of vectors. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, (1): 75. [全国爱国卫生运动委员会, 卫生部, 2010. 病媒生物预防控制管理规定. 中华卫生杀虫药械, (1): 75.]

Peres-Neto PR, Legendre P, Dray S, Borcard D, 2006. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. *Ecology*, 87(10): 2614–2625.

R Development Core Team, 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http: //www. R-project.org.

Ren HW, Wang MF, 2011. Species diversity of Calyptratae in Emeishan area of Sichuan province. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 22(4): 322–324. [任宏伟, 王明福, 2011. 四川省峨眉山地区有瓣蝇类物种多样性初探. 中国媒介生物学及控制杂志, 22(4): 322–324.]

Sandhu HS, Shi PJ, Kuang XJ, Xue FS, Ge F, 2011. Applications of the bootstrap to insect physiology. *Florida Entomologist*, 94(4): 1036–1041.

Shi J, Zhao Y, Wang SM, Zhang GL, Chang M, Liu JM, Cao XF, Zhao BG, 2006. Studies on fauna and distribution of *Genus Hydrotaea* in Hebei province (Diptera: Cyclorrhapha). *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 17(4): 322–323. [师鉴, 赵勇, 王苏梅, 张国立, 常梅, 刘继敏, 曹秀芬, 赵宝刚, 2006. 河北省齿股蝇属区系分析 (双翅目:环裂亚目). 中国媒介生物学及控制杂志, 17(4): 322–323.]

Shi PJ, Zhao ZH, Sandhu HS, Hui C, Men XY, Ge F, Li BL, 2014. An optimization approach to the two-circle method of estimating ground-dwelling arthropod densities. *Florida Entomologist*, 97(2): 644–652.

Tang M, Yu SH, 2013. Analysis of the density and population structure of flies under different ecological environment in 2011, Jinzhou. *Medical Frontier*, (27): 44–45. [唐明, 于世洪, 2013. 金州区 2011 年不同生态环境蝇类密度及种群结构分析. 医药前沿, (27): 44–45.]

Wood SN, 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. London: Chapman and Hall/CRC. 119–323.

Xu TS, Ge ZH, 1966. Study on the relationships between *Pegomyia phyllostachys* Fan and the degraded shoot of moso bamboo. *Scientia Silvae*, 11(3): 30–37. [徐天森, 葛振华, 1966. 毛笋泉蝇与毛竹退笋关系的研究. 林业科学, 11(3): 30–37.]

Xue RD, Zhang WZ, 1983. Bionomics of common flesh flies in Taiyuan, Shanxi. *Acta Entomologica Sinica*, 26(3): 295–301. [薛瑞德, 张文忠, 1983. 太原市常见麻蝇的生态学研究. 昆虫学报, 26(3): 295–301.]

Xue WQ, Zhao JM, 1998. China Flies (Ⅰ). Shenyang: Liaoning Science and Technology Press. 634–1038. [薛万琦, 赵建铭, 1998. 中国蝇类(上册). 沈阳: 辽宁科学技术出版社. 634–1038.]

Yang JK, Wang XL, 1988. A new species of *Chyliza* (Psilidae: Diptera) from China, injuring bamboo roots. *Forest Research*, 1(3): 275–277. [杨集昆, 王心丽, 1988. 竹子新害虫竹笋绒茎蝇的鉴定 (双翅目:茎蝇科). 林业科学研究, 1(3): 275–277.]

Yang L, Cai JF, Wen JF, Guo YD, 2010. Sequencing of mitochondrial DNA cytochrome oxidase submit Ⅰ gene in sarcosaphagous flies from 14 provinces in China. *Journal of Central South University* (*Medical Sciences*), 35(8): 819–825. [杨立, 蔡继峰, 文继舫, 郭亚东, 2010. 中国 14 省不同地区常见嗜尸性苍蝇 mtDNA 中 COⅠ基因序列检测. 中南大学学报(医学版), 35(8): 819–825.]

Yang ZH, 2010. Taxonomic studies on Stratiomyidae from China (Diptera). Doctor's degree dissertation. Guiyang: Guizhou University. [杨再华, 2010. 中国水虻科分类研究(双翅目). 博士学位论文. 贵阳: 贵州大学.]

Zhang JT, 2011. Numerical Ecology, 2nd ed. Beijing: Science Press. 77–97. [张金屯, 2011. 数量生态学(第 2 版). 北京: 科学出版社. 77–97.]

Zhu GL, Zhu CH, Wu ZD, 2000. Damage of *Diomorus adiomorphi* and *Aiolomorphus rhopalioides* to *Phyllostachys praecox* and their prevention and cure techniques. *Zhejiang Forestry Science and Technology*, 20(2): 53–54. [朱国良, 朱朝华, 吴浙东, 2000. 雷竹基地竹小蜂的危害及防治技术研究. 浙江林业科技, 20(2): 53–54.]