



•技术与方法•

三种被动式采集方法对甲虫收集效果的比较研究： 以香港城门样地为例

滕备^{1,2}, 杨海东^{1,3}, 佟一杰¹, 梁敏轩⁴, 张嘉康⁴, 李英铭⁴, Benoit Guénard⁵, 白明^{1*}

1. 中国科学院动物研究所动物进化与系统学重点实验室, 北京 100101; 2. 河北大学生命科学学院, 河北保定 071028; 3. 广东省科学院动物研究所, 广州 510260; 4. 香港渔农自然护理署, 香港; 5. 香港大学生物科学学院, 香港

摘要: 标本标准化采集是昆虫多样性研究的根本。昆虫种类繁多、习性复杂、分布广泛, 基于不同的研究目标, 昆虫学家会选用不同的采集方法。由于主动式采集方法存在较多干扰因素和重现性差等问题, 以飞行阻隔器(flight interception trap, FIT)、马氏网(Malaise trap, MT)和罐诱(pitfall trap, PT)为代表的被动式采集方法被广泛应用, 并在昆虫多样性研究中展现独特的优势。然而关于这些被动式采集方法的收集特点和采集效果等还缺乏系统性研究。本研究选取香港城门13个样点, 利用上述3种被动式采集方法共156个采集装备开展为期24天的鞘翅目昆虫采集工作, 并通过多样性指数分析、多度分析、体型与食性相关分析、相似性分析以及物种累积曲线分析评估了不同采集方法对甲虫的收集效果。本研究共采集甲虫6,380头, 涉及40科197种, 分析结果显示: (1)采用不同采集方法获得的物种数量和组成存在差异。从科级和种级的数量来看, FIT (36科, 149种) > MT (24科, 79种) > PT (17科, 60种); 在物种组成方面, FIT与PT之间、MT与PT之间区别较大, FIT与MT对应的物种相似度稍高于前两组。(2)多样性指数和物种多度分布分析显示: 丰富度指数为FIT > MT > PT, 优势度指数为FIT > PT > MT, 多样性指数为MT > FIT > PT, 均匀度指数为MT > PT > FIT。3种方法采集到的甲虫个体数为1头的种较多, 个体数超过1头的种在时间和空间方面的分布较广, 优势科的种类较少, 但其个体数占总个体数的比例较高。(3) FIT和PT均采集到了6类食性的甲虫, 其中藻食性的缨甲科甲虫仅见于FIT和PT采集方法。(4)物种累积曲线的结果表明3种采集方法效果均较好。3种采集方法各有特点, 但FIT采集的综合效果最优。FIT和MT两种方法的结合提升了采集甲虫的种类、食性和体型等方面的覆盖度, 更利于对甲虫多样性及类群与生态环境功能互作的研究。3种方法所收集到的甲虫存在一定差异, 因此可以针对不同研究目的选取适宜的采集方式。

关键词: 甲虫; 多样性; 飞行阻隔器; 马氏网; 罐诱; 城门

滕备, 杨海东, 佟一杰, 梁敏轩, 张嘉康, 李英铭, Benoit Guénard, 白明 (2021) 三种被动式采集方法对甲虫收集效果的比较研究: 以香港城门样地为例. 生物多样性, 29, 1386–1395. doi: 10.17520/biods.2021050.

Teng B, Yang HD, Tong YJ, Leung MH, Cheung KH, Lee YM, Guénard B, Bai M (2021) A comparative study on the collection effectiveness of beetles by three passive acquisition methods in Shing Mun (Hong Kong). Biodiversity Science, 29, 1386–1395. doi: 10.17520/biods.2021050.

A comparative study on the collection effectiveness of beetles by three passive acquisition methods in Shing Mun (Hong Kong)

Bei Teng^{1,2}, Haidong Yang^{1,3}, Yijie Tong¹, Manhin Leung⁴, Kahong Cheung⁴, Yingming Lee⁴, Benoit Guénard⁵, Ming Bai^{1*}

1 Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

2 School of Life Sciences, Hebei University, Baoding, Hebei 071028

3 Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260

4 Agriculture, Fisheries and Conservation Department, Hong Kong

5 School of Biological Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong

收稿日期: 2021-02-06; 接受日期: 2021-07-29

基金项目: 香港渔农自然护理署专项项目资助、国家科技基础资源调查专项(2019FY100400)、国家自然科学基金(31961143002; 31900317)、中国科学院国际合作局“一带一路”项目和广东省科学院建设国内一流研究机构行动专项资金(2020GDASYL-20200102021; 2020GDASYL-20200301003)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: baim@ioz.ac.cn

ABSTRACT

Aims: The standardization of acquisition methods to collect insect specimens is a major component of insect diversity research. In light of the high species diversity, complex behavior, and wide distribution of insects, numerous active and passive acquisition methods have been developed to achieve different research goals. However, the use of active search acquisition methods is constrained by the presence of many interfering factors and poor reproducibility. Passive acquisition methods, such as flight interception trap (FIT), Malaise trap (MT) and pitfall trap (PT), have been widely adopted in different scenarios and have gradually become the most common methods for conducting insect diversity research due to their unique advantages. Despite their popularity, however, there is a lack of systematic research on the features and collecting effectiveness of these passive acquisition methods.

Methods: In this study, 13 sampling points in Shing Mun from Hong Kong, China were monitored in a one-month field survey (sampling frequency of about 2–3 days) using the three passive acquisition methods above (156 sets of equipment in total). These surveys were evaluated to determine each method's effectiveness for the beetle collection.

Results: A total of 6,380 beetle specimens of 197 species from 40 families were collected. The results of the study showed that: (1) There is a difference in the effectiveness of beetle collection by each acquisition method. Overall, FIT (36 families, 149 species) was more effective than MT (24 families, 79 species) and PT (17 families, 60 species). Ten families were collected by all the three methods. (2) The analysis of biodiversity indices and species-abundance distribution indicate the following: The richness index was the highest for FIT, followed by MT and PT. The dominance index was the highest for FIT, followed by PT and MT. The diversity index was the highest for MT, followed by FIT and PT. The evenness index was the highest for MT, followed by PT and FIT. The number of species with at least one individual collected by the three acquisition methods was very high. The species with more than one individual collected were widely distributed in time and space. There were fewer species from dominant families, though the total of individuals from these species accounted for a high proportion of all the collected beetles. (3) In terms of feeding habits, both FIT and PT enabled the collection of beetles from six dietary types. Among these, the algae-feeding family Ptiliidae was only collected by these two methods. (4) The plotted species accumulation curve demonstrated increased species discovery in a step-wise manner with gradually deceleration, which reflects the effectiveness of the three methods.

Conclusions: Each of the three acquisition methods have unique characteristics, but the comprehensive collection efficiency of FIT was markedly higher than MT and PT. Compared with PT, one of the most used acquisition methods, FIT and MT could enhance the coverage of species-richness, feeding habit, and body size of the beetles collected. This combination of collection methods would be conducive to better understand baseline beetle diversity and to conduct in-depth studies on the ecological functions and interactions of different groups. Furthermore, the beetles collected by each of the three methods were different to some extent, and thus a study's acquisition method should be selected according to the research goal and scientific problem to be addressed.

Key words: beetle; diversity; flight interception trap; Malaise trap; pitfall trap; Shing Mun

昆虫形态多样、行为复杂、数量庞大、种类丰富,是生态系统的重要成员,被认为在全球生物多样性中占据重要比重(Samways, 1993; 查玉平等, 2006; 何振等, 2007)。21世纪以来,昆虫生物多样性成为当代生态学及环境科学的研究热点之一(Gaston, 2000; 郭玉永, 2003; Green & Bohannan, 2006; 杨斌等, 2011)。样本收集是研究昆虫多样性的重要基础。常见的昆虫采集方法通常分为主动式和被动式,主动式采集方法包括扫网法、振落法、解剖朽木法等(杨集昆, 1958),因其采集装备较为简单、便于携带而被广泛使用。被动式采集方法可重复性高、采集数量多、样本溯源精确,近些年来受到国内外研究者的关注(周红章等, 2014; 张珍,

2016; 董会等, 2017),被广泛用于基于样地的特定科学问题研究。罐诱法(pitfall trap, PT)是最为传统的被动式采集方法之一,因其成本低、设计简单成为常用的昆虫采集方法(Martin, 1978; Mühlberg, 1989)。然而,罐诱法通常只能采集到生活于地表的无脊椎动物(如步甲、马陆等),无法对大部分具有飞行能力的昆虫做到精准监测。因此,其他被动式采集工具在昆虫多样性的研究中也逐渐得到应用,如马氏网(Malaise trap, MT)、飞行阻隔器(flight interception trap, FIT)、吸虫塔、毒杀喷雾、冠层塔吊等(邵天玉等, 2015)。其中成本低廉、使用方便的马氏网和飞行阻隔器应用最为广泛,但后者在国内的报道较少(杨宗武等, 2009; 聂瑞娥等, 2017)。综

上所述, 在昆虫多样性研究日益重要且中国昆虫多样性研究广泛开展的背景下, 我们有必要对不同的采集方式进行综合比对, 以期今后的昆虫多样性研究提供思路方法。

在全球定点布设长期样地, 定量评估昆虫多样性与环境之间的关系具有重要意义。在此背景下, 经中国科学院动物研究所白明研究员与英国自然历史博物馆Alfried Vogler教授研讨, 最终与诸多同行共同提出了“SITE100 (Site-based, Insects, Taxonomy, Environment, 100)”国际大科学计划(详见项目网站<https://www.site100.org/>)。项目计划在全球选定100个大样地, 探究全球昆虫多样性格局。香港城门样地是继秦岭样地之后的中国第二个SITE100样地, 同时项目组正在建设南岭样地及布局其他SITE100样地。因此开展被动式采集方式的比较对于探究全球昆虫多样性格局研究也具有十分重要的现实意义。

鞘翅目昆虫俗称甲虫, 是昆虫纲最大的类群, 全球已知约38万种, 地理分布十分广泛, 在地球上的任何角落几乎都可见到它们的身影(郭玉永, 2003;

元东明, 2012)。甲虫多样的栖息环境和生活史导致不同类群所处的生态位和生存空间各不相同, 因此甲虫采集方法的选择和设定在多样性调查中十分重要。但采集方法上的限制导致国内针对甲虫的多样性调查研究多集中于活跃在地表或飞行能力较弱的种类, 对于不同高度空间中活跃的甲虫类群的了解尚少(李巧等, 2008; 张越等, 2014)。本文以鞘翅目昆虫作为研究对象, 使用飞行阻隔器、马氏网和罐诱3种被动式采集方法组成的立体式采集装备集群, 覆盖范围从地表到半高空, 同时基于丰富度、均匀度、优势度、多度分布等指标比较3种采集方法所收集甲虫的食性、体型、个体数、物种数等方面的相似性和差异性, 从而评估不同方法的收集效果。

1 材料与方法

1.1 甲虫的采集及鉴定

香港城门郊野公园群山环绕, 占地1,400 ha (方小山等, 2011)。研究选取城门郊野公园样地(约1 km²)内的13个采样点进行为期24 d (2017年5月23

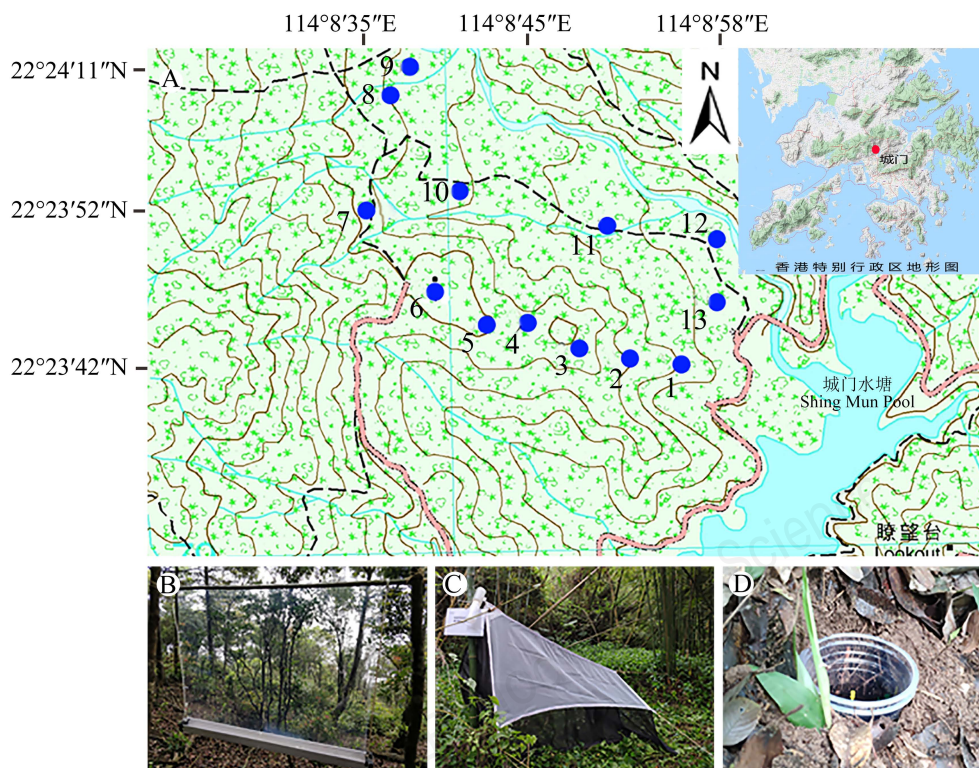


图1 香港城门样地采集样点和3种被动式采集方法。A: 样点位置(圆点标注); B: 飞行阻隔器; C: 马氏网; D: 诱罐。

Fig. 1 The sampling points in Shing Mun, Hong Kong and the three passive acquisition methods. A, Layout of sampling points (dots indicated); B, Flight interception trap; C, Malaise trap; D, Pitfall trap.

日至6月16日)的甲虫多样性调查(图1A), 每个样点设置1套飞行阻隔器(图1B)、1套马氏网(图1C)和10个诱罐(图1D), 样点间的平均间距为100 m, 基本达到了对样地生境的全面覆盖。实验组人员每隔2 d对各样点的标本进行收集, 标本保存于无水乙醇中, 参考李鸿兴等(1987)、郑乐怡和归鸿(1999)以及王玉等(2009)进行初步鉴定, 进一步的分类鉴定由国内外相关专家或学者完成。

飞行阻隔器在国外使用较早, 是一种针对飞行能力较强的昆虫的简单高效采集设备(Chung, 2004; Lamarre et al, 2012; Seibold et al, 2016)。本研究探索出了一套符合我国实际情况的飞行阻隔器, 将国外常用的由深色或黑色尼龙网制成的长方形纱网改成聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)屏幕。这种屏幕透明且光滑, 很难被飞行中的昆虫察觉, 从而使昆虫在飞行过程中撞击屏幕掉入到下方的收集槽中。槽内盛放相关药品, 根据研究目的选取不同的药剂配方: 盐水(5 mmol/L NaCl溶液)收集用于形态研究的标本; SDS和EDTA的混合液或高浓度的酒精收集用于分子生物学的昆虫标本, 该类药品能有效抑制DNA的降解(裴瑞娥等, 2017)。飞行阻隔器架设在山谷间的道路、溪流且靠近森林的昆虫的飞行通道上方, 安置地点设置两个牢固的支撑点用于固定外展PVC屏幕的长竹竿。同时, 本研究加大了水槽的尺寸, 改进后的飞行阻隔器能适应更多的生境, 采集效果较好。

马氏网是Townes型, 材料为100目的尼龙丝网, 整体构造类似一座尖顶房屋, 顶部一侧高一侧低, 底部为长方形(王章训等, 2021)。收虫器置于最高处, 里面放置无水乙醇, 安装位置通常在昆虫主要活动区域。

诱罐布设在植被茂盛且落叶层较厚, 或者靠近溪流的较为平坦的地带。每个样点的10个诱罐的间距不等, 但尽量选择安置在小生境良好的地点。具体操作如下: 在地面挖一个与广口塑料杯深度相同(高20 cm, 口径10 cm)的坑; 将无盖的广口塑料杯置于坑内, 杯沿与地面齐平, 杯内放置无水乙醇和蜂蜜或腐肉的混合物; 在广口杯上方距瓶口约1/4处打上小孔, 防止因雨水注满导致标本流失(元东明, 2012)。

1.2 多样性分析

按照不同的采集方法和样点对标本的种类和

个体数量进行统计(在科级水平下, 没有定种名的标本按照顺序以形态种1, 2, 3, ..., N命名), 采用丰富度指数、多样性指数、均匀度指数、优势度指数和相似性系数来分析3种采集方法的效果, 计算公式如下(马克平和刘玉明, 1994; 孔凡洲等, 2012; 张姗等, 2015):

Margalef丰富度指数(R):

$$R = (S - 1)/\ln N \quad (1)$$

Shannon-Wiener多样性指数(H'):

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (i = 1, 2, \dots, S) \quad (2)$$

Pielou均匀度指数(J):

$$J = H'/H_{\max}; H_{\max} = \ln S \quad (3)$$

Berger-Parker优势度指数(D):

$$D = N/N_i \quad (4)$$

Jaccard相似性系数(C_j):

$$C_j = c/(a + b - c) \quad (5)$$

式中, S 为种类数, N 为其中一种方法采集到的甲虫总个体数, P_i 为第 i 种的个体数占总个体数的比值, N_i 为采集到的甲虫所有种的总个体数。在相似性系数公式中: a 为方法A所采集的物种数, b 为方法B所采集的物种数, c 为方法A和B共同采集的物种数, C_j 的值为0–0.25时为极不相似; 0.25–0.50时为中等不相似; 0.50–0.75时为中等相似; 0.75–1.00时为极相似(Jaccard, 1912)。

1.3 食性和体型分析

依据张兵兰等(2004), 将甲虫的食性划分为6类(蛀木性、菌食性、捕食性、腐食性、植食性、藻食性)。选取每种甲虫的高清背面照片对体长和体宽进行测量, 在SPSS 16.0软件中以3种采集方式所采集甲虫的体长值和体宽值数据分组作为横坐标, 体长值和体宽值作为纵坐标绘制箱型图。

1.4 多度分布

设定0–7共7个级别作为标尺倍程进行数据并组, 倍程对应甲虫个体数为1、2–4、5–13、14–40、41–121、122–364、365–1,093头的范围, Y轴为普通算数坐标轴。即X坐标轴表示甲虫个体数, Y坐标轴表示甲虫物种数, 根据并组后的数据进行物种多度分布曲线的绘制(张胜勇等, 2008; 尚素琴等, 2020)。

1.5 物种累积曲线

通过物种累积曲线(species accumulation curve)

对采样是否充分进行判断(Moreno & Halffter, 2001)。如果曲线一直急剧上升说明采样不充分, 如果曲线先是急剧攀升然后逐渐舒缓变为一条渐近线则说明采样充分, 所获数据可以继续后续的分析(Ugland et al, 2003; 李巧, 2011)。本研究基于 Estimate S 9.1.0 软件, 使用多度的估计量(abundance-based coverage estimator, ACE)和盖度的估计量(incidence-based coverage estimator, ICE)并结合实际采样中的物种数量来评估3种方法采样是否充分(Chao et al, 2005)。

2 结果

2.1 3种被动采集方式获得的甲虫多样性

本次调查共采集到甲虫6,380头, 隶属于40科。3种方法采集甲虫的科数、物种数、个体数以及多样性指数均存在较大差异(图2)。丰富度指数为 $FIT > MT > PT$; 优势度指数为 $FIT > PT > MT$; 多样性指数为 $MT > FIT > PT$; 均匀度指数为 $MT > PT > FIT$ 。科数和物种数均为 $FIT > MT > PT$; 个体数为 $FIT > PT > MT$ 。有10个科在3种采集方法中均有出现, 即大蕈甲科、花蚤科、露尾甲科、毛蕈甲科、拟球科、象甲科、叶甲科、隐翅虫科、隐唇甲科及长角象科, 其中象甲科的物种丰富度及采集到的个体数最高。卷象科、瓢虫科、天牛科和泽甲科只出现在马氏网法采集中。而捕蠹科、出尾扁甲科、姬蕈甲科、皮蠹科、皮坚甲科、薪甲科、阎甲科、幽甲科、长蕈甲科仅在飞行阻隔器采集法中出现。

2.2 3种被动采集方式获得的甲虫的体型数据

FIT和MT所采集到的甲虫的体长和体宽值之

间差别较小, 参数基本分布于同一区间, 而PT采集的甲虫体长和体宽的平均值均低于FIT和MT(图3A, 3B)。

2.3 3种被动采集方式获得的甲虫食性

本次调查采集到的甲虫以蛀木性(9科)、菌食性(9科)、捕食性(8科)、腐食性(8科)为主, 植食性(5科)次之, 藻食性(1科)较少。

3种方法采集到的甲虫食性组成有所差异(图3C)。FIT和PT均采集到了6类食性甲虫, 而马氏网未采集到藻食性甲虫。其中飞行阻隔器采集的标本中, 每种食性对应的科级数量最多, 尤其是菌食性甲虫; 马氏网的采集效果在植食性甲虫、蛀木性甲虫和捕食性甲虫中科级数量上高于罐诱法, 与飞行阻隔器的采集效果相似; 罐诱的采集效果在菌食性甲虫和腐食性甲虫的科级数量上高于马氏网; 藻食性的甲虫(缨甲科)只出现在飞行阻隔器和诱罐中。

2.4 甲虫群落物种-多度分布

3种采集方法的甲虫群落物种-多度曲线(图3D)表明: 个体数为1头的稀有种较多, 部分甲虫类群采集到的个体数较多但是种类却相对较少, 优势类群的个体数更多。

2.5 3种方法采集的甲虫群落相似性分析

FIT和PT、MT和PT的相似性系数均在0–0.25范围内, 为极不相似; FIT和MT的相似性系数在0.25–0.50范围内, 为中等不相似(图4)。

2.6 物种累积曲线结果分析

基于调查的样点数和采集到的物种数, 3条曲线都是先急剧攀升然后再逐渐舒缓(图5)。另外在FIT(图5A)、MT(图5B)和PT(图5C)3种方法下, 丰

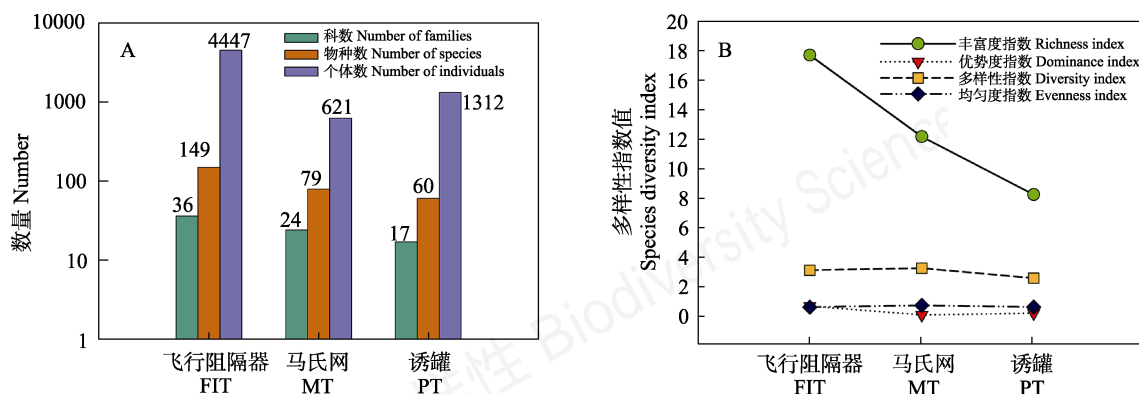


图2 3种采集方法采集的甲虫多样性统计。A: 科数、物种数及个体数; B: 多样性指数。

Fig. 2 Diversity statistics of beetles collected by three collection methods. A, Number of beetle families, species and individuals; B, The diversity indices of beetles. FIT, Flight interception trap; MT, Malaise trap; PT, Pitfall trap.

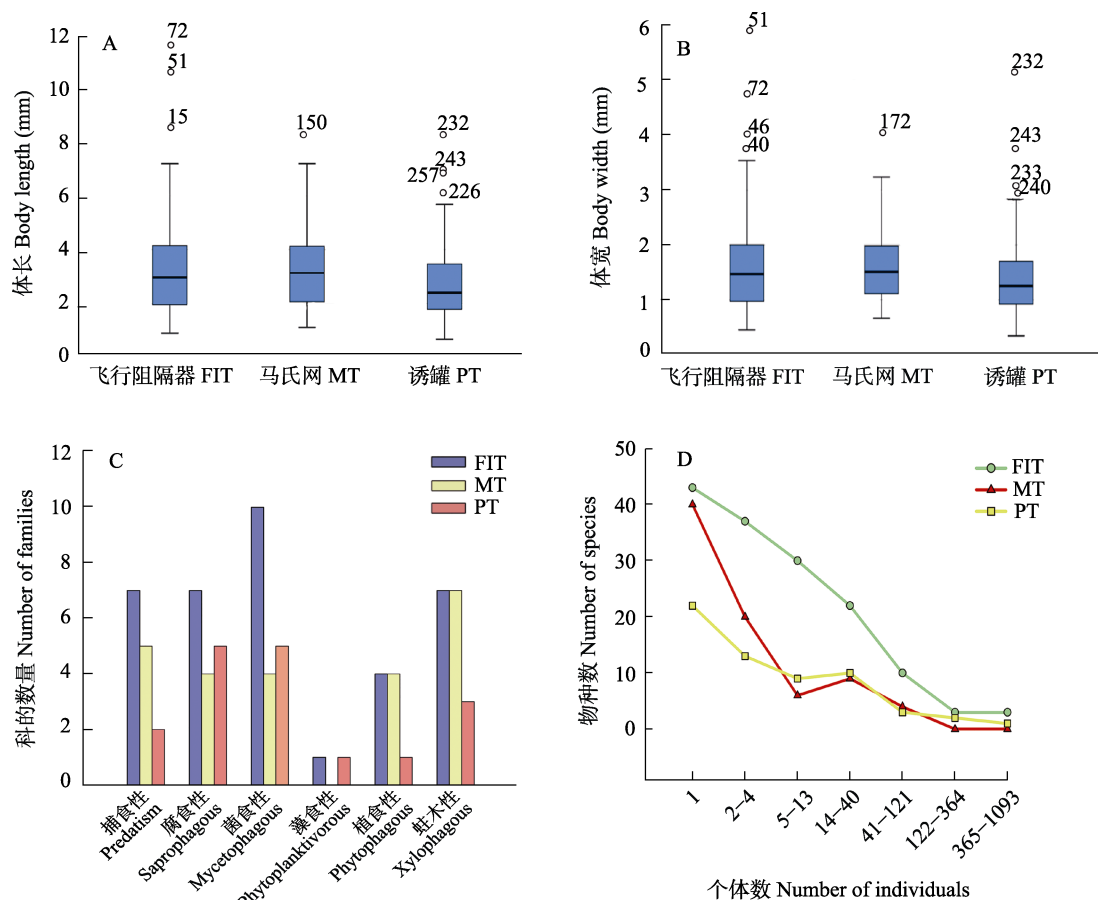


图3 3种采集方法采集的甲虫基于体长(A)、体宽(B)、食性(C)和物种多度(D)的比较研究。A和B图中的数字表示体型异常值对应的标本编号。

Fig. 3 Comparison of the body length (A), body width (B), feeding habit (C) and species abundance (D) among beetles collected by the three methods. The numbers in figures A and B represent specimen numbers corresponding to body size outliers. FIT, Flight interception trap; MT, Malaise trap; PT, Pitfall trap.

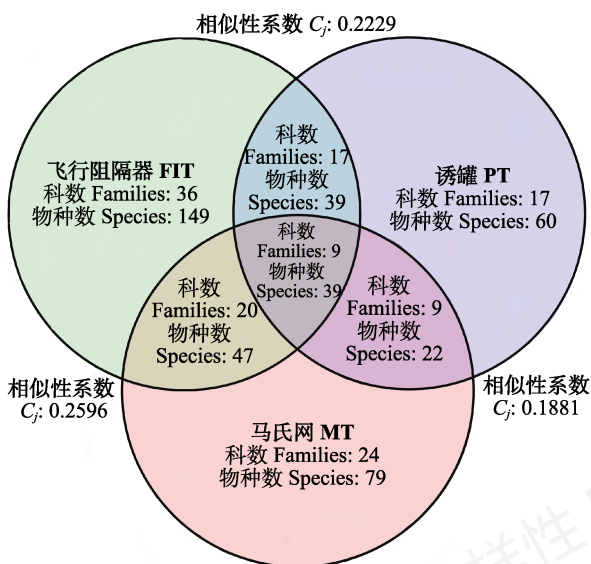


图4 3种方法采集的甲虫科数和种数的相似性

Fig. 4 Similarity of beetle family and species among the three sampling methods. FIT, Flight interception trap; MT, Malaise trap; PT, Pitfall trap.

丰富度的估计量和盖度的估计量分别为149和149.33、79.17和80、60和80,而在实际采集中,飞行阻隔器采集到149种,马氏网采集到79种,诱罐采集到60种,分别占估计量的100%。

3 讨论

3.1 不同采集装备采集效果比较

我国有关飞行阻隔器的正式应用和报道较少(杨宗武等, 2009; 聂瑞娥等, 2017)。聂瑞娥等(2017)在SITE100秦岭样地中采用了飞行阻隔器,结果表明该装置对膜翅目、鞘翅目、双翅目等有较好的收集效果。在国外,飞行阻隔器的应用较早且广泛。Masner和Goulet (1981)利用飞行阻隔器捕捉膜翅目昆虫,效果显著; Hill和Cermak (1997)利用飞行阻隔器拦截澳大利亚森林树冠层的鞘翅目昆虫,效果较为理想; Campos等(2000)对巴西的膜翅目等昆虫的

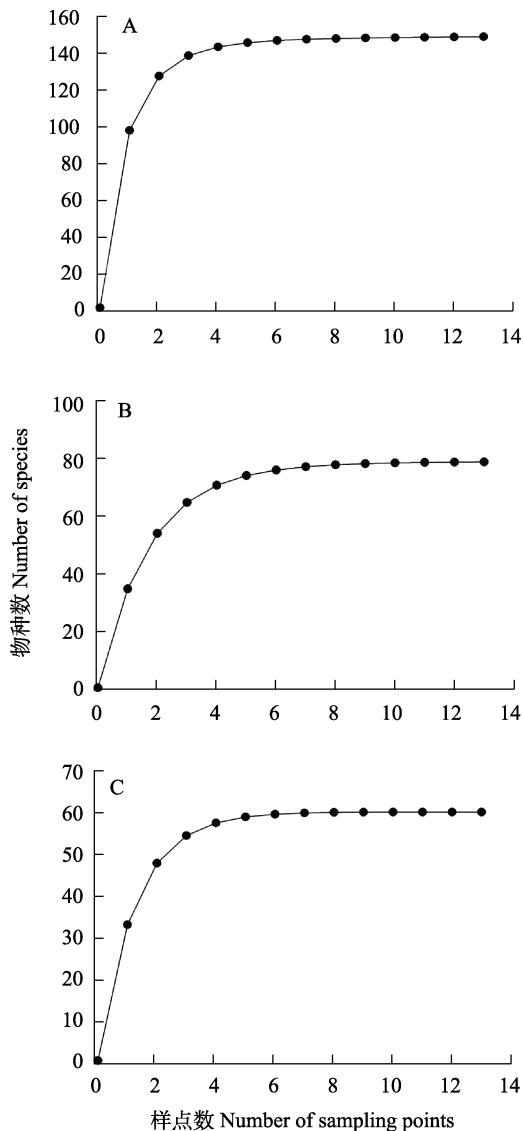


图5 3种方法下基于样点数的物种累积曲线。A: 飞行阻隔器; B: 马氏网; C: 诱罐。

Fig. 5 Species accumulation curves based on number of sampling points under three methods. A, Flight interception trap; B, Malaise trap; C, Pitfall trap.

飞行阻隔器拦截效果进行了比较,发现采用黄色托盘的飞行阻隔器效果更好,能采集到的昆虫种类更多;美国西弗吉尼亚大学(Dobony & Edwards, 2001)用丙烯酸透明玻璃制作飞行拦截网,研究表明该装置几乎对所有目的昆虫都能有效拦截;Chung (2004)在马来西亚用飞行拦截网在热带雨林进行昆虫垂直分层采集研究,采集到的昆虫的多样性十分丰富。

van Achterberg (2009)的研究表明,马氏网对双翅目、鳞翅目和膜翅目等昆虫的收集效果较好。但马氏网对于碰到障碍物时掉落的昆虫(如具假死性

的甲虫)或向下飞行的昆虫(如蛛蜂)的采集效果不够理想(杨宗武等, 2009)。周红章等(2000)在湖北神农架自然保护区主要采用罐诱法结合扫网和灯诱法进行昆虫采集,该调查结果显示膜翅目和鞘翅目是此次调查中昆虫纲数量最丰富的两个目;膜翅目以蚁科最为丰富,而鞘翅目中数量最丰富的类群是隐翅虫科、步甲科和叶甲科。何振等(2007)采用罐诱法对八大公山油茶林和亚热带天然次生林的节肢动物进行采集和研究,结果显示弹尾目、蜚蠊目为优势类群,膜翅目的蚁科和鞘翅目的步甲科为常见类群。目前还缺少对于3种被动采集装备(飞行阻隔器、马氏网和诱罐)所构成的立体装备集群的采集效果的研究,因此本研究对3种被动采集方法的甲虫采集效果进行比较,并对野外采集提供一定的参考价值。

从本次调查采集的科级水平来看,部分类群的捕获伴随着采集方法的专有性,飞行阻隔器和马氏网法弥补了罐诱法所不能采集到的19个科。从所采集甲虫样本的食性方面分析,本次调查与香港嘉道理农场次生林区的甲虫调查结果存在较大差异(张兵兰等, 2004),尽管两个样地的地理位置相距不远,气候条件基本一致,但是本次新增采集到的菌食性和捕食性甲虫约占总体的40%。本次研究中菌食性和捕食性甲虫的大量增加可能与采集方法的不同有关,嘉道理农场次生林区的采集工作主要通过碰撞诱捕网和黑光灯诱集完成,所以针对一些飞行能力较强的捕食性甲虫和喜欢爬行或躲藏在菌物上的菌食性甲虫的采集效果不理想;与此同时,我们发现马氏网对于藻食性的甲虫(如缨甲科)的采集效果较差,通过飞行阻隔器和罐诱可以弥补这方面的采集缺陷。

通过对甲虫的个体数、物种数、体型等方面的比较可以看出,飞行阻隔器对善于飞行的大型甲虫的采集效果较好,如腐食性和蛀木性的甲虫;马氏网能够采集到许多在夜间飞行但无趋光性的甲虫,可以弥补夜间灯诱法不能采集到的甲虫类群;罐诱法能够采集到一些喜欢在地表爬行的甲虫,如拟步甲科和象甲科,这些类群多数种类的后翅退化,不具有飞行能力或飞行能力弱(任国栋和于有志, 1999; 黄人鑫, 2005)。通过对本研究3种方法采集到的甲虫的体型进行分析发现,飞行阻隔器和马氏网采集的甲虫体型较大,而诱罐所收集的甲虫体型较小。从

种类的角度来看, 飞行阻隔器和马氏网采集到的甲虫种类存在差异, 原因可能是由于两种设备安装高度不同, 造成空间上的差异。飞行阻隔器安装高度通常高于马氏网, 因此采集到的样本多为飞行能力强、飞行高度较高的甲虫。马氏网主要用于拦截靠近地面飞行或爬行的甲虫。罐诱法安装最为简单, 便于携带, 且布置点容易选择, 因此对爬行类昆虫具有较好的收集效果, 该方法的使用度较高, 在本研究中采集到了大量的小蠹和隐翅虫。同时, 物种累积曲线结果反映出在3种方法下采集到甲虫的试验抽样量充分, 说明本次采集的甲虫标本的数量足够, 可以进行后续的多样性分析。结合上述研究以及此次城门甲虫采集效果来看, 在进行物种多样性调查时应采取多方法相结合、相补充的方式进行, 以满足对不同生境下昆虫取样的充分性。

3.2 3种采集装备在城门样地调查的不足之处

本次调查仍存在一些不足: (1)采集时间较短, 季节单一。本研究仅在5月进行了为期24天的采样, 而其他月份香港城门甲虫的物种多样性或组成结构依然亟需补充; (2)虽然罐诱法能够采集到许多地表爬行的甲虫, 但是对于栖息在地表或地下层, 生活隐蔽或几乎不在地表活跃的甲虫(如土壤内或落叶层, 苔藓内)采集的种类和个体数量较少; (3)本研究开展期间恰逢大量风雨天气, 气候不稳定, 可能对采集效果产生较大影响。因此该调查结果并不能全面地反映城门地区的甲虫多样性。


3.3 展望


在进行昆虫物种多样性研究时, 不同采集方法所采集的昆虫类群以及各项多样性指标均有差异(Ades & Dudgeon, 1999)。依据不同昆虫类群自身的特点和习性来选择采集方法, 多种方法综合运用才能使采集效果更好。除此以外, 还应考虑研究调查的目的和采集点的实际环境情况, 灵活制定采集方式, 并对采集设备进行调整和改进, 以适应具体的研究内容。本研究首次对该地区甲虫进行了系统性探究, 积累了许多宝贵的经验, 本研究同时也为“SITE100”国际大科学计划贡献了一些数据, 未来还需进行进一步的研究和探索, 以期获得中国香港样地昆虫多样性格局的全貌。3种采集方法除了可以收集甲虫以外, 还可以收集到一些其他动物, 包括一些其他目的昆虫以及钩虾、蛙类、蜥蜴、小型哺乳动物(如鼯鼠、蝙蝠)等非昆虫类群, 故这3种被


动采集方法的采集效果有待在更多动物类群、更多采集地点进行试验, 对于未来生物多样性评估试验同样具有重要意义。

致谢: 感谢香港渔农自然护理署的陈坚峰先生、叶彦博士以及甲虫工作小组的同事在香港昆虫多样性调查工作中的大力支持和帮助。感谢中国科学院动物研究所杨星科研究员、聂瑞城博士、路园园博士、杨美霞博士、陈炎栋、贺旭、阮用颖、李猷、李露露和河北农业大学卢威成在标本采集、整理、数据收集和文稿撰写等方面提供的帮助。此外, 杨玉霞、梁红斌、刘万岗、林美英、贾凤龙、高传部、彭中、宋晓斌、殷子为、王兴民、苑彩霞、王志良、李学燕、边冬菊、刘蓝玉、李开琴、周润等老师提供了标本鉴定方面的帮助, 在此一并感谢。

ORCID

滕备  <https://orcid.org/0000-0002-1566-0525>

佟一杰  <https://orcid.org/0000-0002-6938-9865>

白明  <https://orcid.org/0000-0001-9197-5900>

参考文献

- Ades GWJ, Dudgeon D (1999) Insect seasonality in Hong Kong: A monsoonal environment in the northern tropics. *Memoirs of the Hong Kong Natural History Society*, 22, 81–97.
- Campos WG, Pereira D, Schoereder JH (2000) Comparison of the efficiency of flight interception trap models for sampling Hymenoptera and other insects. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 29, 381–389.
- Chao A, Chazdon RL, Colwell RK, Shen TJ (2005) A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters*, 8, 148–159.
- Chung AYC (2004) Vertical stratification of beetles (Coleoptera) using flight interception traps in a lowland rainforest of Sabah, Malaysia. *Sepilok Bulletin*, 1, 29–41.
- Dobony CA, Edwards JW (2001) A new flight interception trap for arthropod sampling. *Entomological News*, 112, 217–220.
- Dong H, Yang GL, Kong LG, Zhang WG (2017) Collection, production and preservation of insect specimen. *Laboratory Science*, 20(1), 37–39. (in Chinese with English abstract) [董会, 杨广玲, 孔令广, 张卫光 (2017) 昆虫标本的采集、制作与保存. *实验室科学*, 20(1), 37–39.]
- Fang XS, Li YJ, Huang J (2011) Discussion on the characteristics of cultural resources in Hong Kong's country parks and its protection and utilization. *South Architecture*, (3), 27–32. (in Chinese with English abstract) [方小山, 黎

- 英健, 黄杰 (2011) 浅议香港郊野公园人文资源的特色与保护利用. 南方建筑, (3), 27–32.]
- Gaston KJ (2000) Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405, 220–227.
- Green J, Bohannan BJM (2006) Spatial scaling of microbial biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 501–507.
- Guo YY (2003) The current research state and progress of insect biodiversity. *Sci-Tech Information Development & Economy*, 13(12), 131–132. (in Chinese with English abstract) [郭玉永 (2003) 昆虫生物多样性的研究现状与进展. 科技情报开发与经济, 13(12), 131–132.]
- He Z, Yang DD, Tong XW, Wang BL, Gu ZR (2007) Species diversity of insects in Badagongshan National Nature Reserve of Hunan Province. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 27(2), 61–65, 82. (in Chinese with English abstract) [何振, 杨道德, 童新旺, 王帮利, 谷志容 (2007) 湖南八大公山自然保护区昆虫物种的多样性. 中南林业科技大学学报, 27(2), 61–65, 82.]
- Hill CJ, Cermak M (1997) A new design and some preliminary results for a flight intercept trap to sample forest canopy arthropods. *Australian Journal of Entomology*, 36, 51–55.
- Huang RX (2005) The Fauna of the Desert Insects of Xinjiang and Its Formation and Evolution. Xinjiang Science and Technology Press, Urumqi. (in Chinese) [黄人鑫 (2005) 新疆荒漠昆虫区系及其形成与演变. 新疆科学技术出版社, 乌鲁木齐.]
- Jaccard P (1912) The distribution of the flora in the alpine zone. *The New Phytologist*, 11, 37–50.
- Kong FZ, Yu RC, Xu ZJ, Zhou MJ (2012) Application of excel in calculation of biodiversity indices. *Marine Sciences*, 36(4), 57–62. (in Chinese with English abstract) [孔凡洲, 于仁成, 徐子钧, 周名江 (2012) 应用Excel软件计算生物多样性指数. 海洋科学, 36(4), 57–62.]
- Lamarre GPA, Molto Q, Fine PVA, Baraloto C (2012) A comparison of two common flight interception traps to survey tropical arthropods. *ZooKeys*, 216, 43–55.
- Li HX, Sui JZ, Zhou SX, Zhou Q, Sun HG (1987) Key to Insects. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese) [李鸿兴, 隋敬之, 周士秀, 周勤, 孙洪国 (1987) 昆虫分类检索. 中国农业出版社, 北京.]
- Li Q (2011) Species accumulation curves and its application. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48, 1882–1888. (in Chinese with English abstract) [李巧 (2011) 物种累积曲线及其应用. 应用昆虫学报, 48, 1882–1888.]
- Li Q, Gao TP, Zhou XY, Chen YL, Guo WJ (2008) Initial studies of the insect community of *Leucaena leucocephala* plantation in Yuanmou Arid-hot Valley, Yunnan. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 28, 109–112. (in Chinese with English abstract) [李巧, 高泰平, 周兴银, 陈彦林, 郭文俊 (2008) 云南元谋干热河谷新银合欢林昆虫群落初探. 中南林业科技大学学报, 28, 109–112.]
- Ma KP, Liu YM (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity*, 2, 231–239. (in Chinese) [马克平, 刘玉明 (1994) 生物群落多样性的测度方法. I. α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2, 231–239.]
- Martin JEH (1978) The Insects and Arachnids of Canada, Part 1: Collecting, Preparing and Preserving Insects, Mites, and Spiders. Canada Department of Agriculture, Canada.
- Masner L, Goulet H (1981) A new model of flight interception trap for some hymenopterous insects. *Entomological News*, 92(5), 199–202.
- Moreno CE, Halfpeter G (2001) On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology*, 38, 487–490.
- Mühlenberg M (1989) Freilandökologie. Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg.
- Nie RE, Yang MX, Xue HJ, Yang YR, Tong YJ, Qiu TF, Bai M, Yang XK (2017) The application and effectiveness of a flight interception trap for insect collecting. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54, 530–535. (in Chinese with English abstract) [聂瑞娥, 杨美霞, 薛怀君, 杨御儒, 佟一杰, 邱腾飞, 白明, 杨星科 (2017) 飞行阻隔器在昆虫采集中的应用探究. 应用昆虫学报, 54, 530–535.]
- Qi DM (2012) Diversity of Coleoptera in the south of Mt. Gongga, Jiulong County. *Chinese Journal of Wildlife*, 33(1), 37–41. (in Chinese with English abstract) [齐东明 (2012) 贡嘎山南麓鞘翅目昆虫多样性研究初探: 以九龙县为例. 野生动物, 33(1), 37–41.]
- Ren GD, Yu YZ (1999) The Darkling Beetles from Deserts and Semideserts of China (Coleoptera: Tenebrionidae). Hebei University Press, Baoding. (in Chinese) [任国栋, 于有志 (1999) 中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫. 河北大学出版社, 保定.]
- Samways MJ (1993) Insects in biodiversity conservation: Some perspectives and directives. *Biodiversity and Conservation*, 2, 258–282.
- Seibold S, Bässler C, Brandl R, Büche B, Szallies A, Thorn S, Ulyshen MD, Müller J (2016) Microclimate and habitat heterogeneity as the major drivers of beetle diversity in dead wood. *Journal of Applied Ecology*, 53, 934–943.
- Shang SQ, Wu XB, Wang ZL, Peng HN, Zhou HL, Zhang HY, Bai YL (2020) Butterfly community structure and species-abundance distribution in different habitats in the Xinglong Mountains National Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 28, 983–992. (in Chinese with English abstract) [尚素琴, 吴兴波, 王召龙, 彭鹤年, 周惠丽, 张红勇, 白映禄 (2020) 兴隆山国家级自然保护区不同生境的蝴蝶群落结构与种-多度分布. 生物多样性, 28, 983–992.]
- Shao TY, Wang KQ, Liu XL, Liu SZ, Zhu CD (2015) Current research state and progress of utilizing suction trap for insect biodiversity. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, (12), 170–173. (in Chinese with English abstract) [邵天玉, 王克勤, 刘兴龙, 刘思竹, 朱朝东 (2015) 利用吸虫塔研究昆

虫生物多样性的现状与展望. 黑龙江农业科学, (12), 170–173.]

Ugland KI, Gray JS, Ellingsen KE (2003) The species-accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology*, 72, 888–897.

van Achterberg K (2009) Can Townes type Malaise traps be improved? Some recent developments. *Entomologische Berichten*, 69(4), 129–135.

Wang Y, Gao GC, Fu BQ, Wu Z (2009) Composition and spatial distribution pattern of ground-dwelling beetle communities in Yeyahu Wetland, Beijing. *Biodiversity Science*, 17, 30–42. (in Chinese with English abstract) [王玉, 高光彩, 付必谦, 吴专 (2009) 北京野鸭湖湿地地表甲虫群落组成与空间分布格局. 生物多样性, 17, 30–42.]

Wang ZX, Wang F, Wu SY, Wu H, Zhang LP, Miao W (2021) Community structure and diversity of arthropod in shelterbelt of Laogang Comprehensive Utilization Base of Solid Waste. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 41(1), 82–87. (in Chinese with English abstract) [王章训, 王凤, 吴时英, 吴华, 张丽萍, 缪玮 (2021) 利用马氏网评估老港固废物综合利用基地防护林节肢动物群落结构及多样性. 浙江林业科技, 41(1), 82–87.]

Yang B, Wang HF, Hao JX (2011) Study on the diversity of moths under laminate in larch plantation. *Jilin Agriculture*, (9), 85–87. (in Chinese) [杨斌, 王海峰, 郝建秀 (2011) 长白落叶松人工林灯下蛾类昆虫多样性研究. 吉林农业, (9), 85–87.]

Yang JK (1958) *Collection of Insects*. Shanghai Scientific & Technical Publishers, Shanghai. (in Chinese) [杨集昆 (1958) 昆虫的采集. 上海科学技术出版社, 上海.]

Yang ZW, Ding SX, Zhang AJ, Hua BZ (2009) A new method of insect acquisition: Flight interception trap. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 55(4), 84–85. (in Chinese) [杨宗武, 丁升选, 张爱娟, 花保祯 (2009) 昆虫采集新方法: 飞行拦截网. 陕西农业科学, 55(4), 84–85.]

Zha YP, Luo QG, Wang GX, Wu SB, Huang DQ, Deng CS, Wei Q (2006) Community diversity of butterfly in Houhe National Nature Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17, 265–268. (in Chinese with English abstract) [查玉平, 骆启桂, 王国秀, 吴少斌, 黄大钱, 邓长盛, 隗权 (2006) 后河国家级自然保护区蝴蝶群落多样性研究. 应用生态学报, 17, 265–268.]

Zhang BL, Zhang Y, Liao J, Ades GWJ, Liu SJ, Lu WH (2004) Diversity comparisons of beetles (Insecta: Coleoptera) between impact flight trap and ultraviolet light trap in the secondary forest at Kadoorie Farm, Hong Kong. *Biodiversity Science*, 12, 301–311. (in Chinese with English abstract) [张兵兰, 张茵, 廖婕, Ades GWJ, 刘绍基, 卢文华 (2004) 香港嘉道理农场次生林区碰撞诱捕网和黑光

灯捕虫器采集所得鞘翅目甲虫多样性比较. 生物多样性, 12, 301–311.]

Zhang S, Lin F, Yuan ZQ, Kuang X, Jia SH, Wang YY, Suo YY, Fang S, Wang XG, Ye J, Hao ZQ (2015) Herb layer species abundance distribution patterns in different seasons in an old-growth temperate forest in Changbai Mountain, China. *Biodiversity Science*, 23, 641–648. (in Chinese with English abstract) [张姗, 蔺菲, 原作强, 匡旭, 贾仕宏, 王芸芸, 索炎炎, 房帅, 王绪高, 叶吉, 郝占庆 (2015) 长白山阔叶红松林草本层物种多度分布格局及其季节动态. 生物多样性, 23, 641–648.]

Zhang SY, Guo XG, Gong ZD, Zhang LY, Wu D, Wang ZK (2008) Investigation on community ecology and species-abundance distribution of fleas on small mammals in 21 counties of Yunnan, China. *Chinese Journal of Zoonoses*, 24, 518–521. (in Chinese with English abstract) [张胜勇, 郭宪国, 龚正达, 张丽云, 吴滇, 王政昆 (2008) 云南省21县市小兽体表蚤类群落生态及种多度分布. 中国人兽共患病学报, 24, 518–521.]

Zhang Y, Ren GD, Gao ZH (2014) The analyses of the species diversity and fauna distribution of Coleoptera in Beijing-Tianjin-Hebei of China. *Journal of Environmental Entomology*, 36, 157–165. (in Chinese with English abstract) [张越, 任国栋, 郜振华 (2014) 京津冀地区甲虫物种多样性与区系分布. 环境昆虫学报, 36, 157–165.]

Zhang Z (2016) A preliminary study on effective collection of plant pest and disease specimens. *China Agricultural Information*, (24), 81–82. (in Chinese) [张珍 (2016) 有效收集作物病虫害标本初探. 中国农业信息, (24), 81–82.]

Zheng LY, Gui H (1999) *Insect Classification*. Nanjing Normal University Press, Nanjing. (in Chinese) [郑乐怡, 归鸿 (1999) 昆虫分类. 南京师范大学出版社, 南京.]

Zhou HZ, Yu XD, Luo TH, He JJ, Zhou HS, Ye CJ (2000) Insect abundance and environmental effects in Shennongjia Natural Reserve, Hubei Province. *Chinese Biodiversity*, 8, 262–270. (in Chinese with English abstract) [周红章, 于晓东, 罗天宏, 何君舰, 周海生, 叶婵娟 (2000) 湖北神农架自然保护区昆虫的数量变化与环境关系的初步研究. 生物多样性, 8, 262–270.]

Zhou HZ, Yu XD, Luo TH, Li XY, Wang FY, Li DE, Zhou YLZ, Zhao CY (2014) Collecting methods and sampling techniques of ground dwelling and predating Carabids and Staphylinids beetles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51, 1367–1375. (in Chinese with English abstract) [周红章, 于晓东, 罗天宏, 李晓燕, 王凤艳, 李德娥, 周毓灵子, 赵彩云 (2014) 土壤步甲和隐翅虫的采集与田间调查取样技术. 应用昆虫学报, 51, 1367–1375.]

(责任编辑: 陈圣宾 责任编辑: 闫文杰)