



陈炎栋, 杨海东, 梁敏轩, 张嘉康, 李英铭, 贺旭, 黄正中, 白明. 飞行阻隔器获取罕见甲虫标本的效能及在生物多样性调查中应用潜力的评价——以香港采集为例 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (5): 1113–1123.

飞行阻隔器获取罕见甲虫标本的效能及在生物多样性调查中应用潜力的评价——以香港采集为例

陈炎栋¹, 杨海东¹, 梁敏轩², 张嘉康², 李英铭²,
贺旭¹, 黄正中¹, 白明^{1*}

(1. 中国科学院动物研究所动物进化与系统学院重点实验室, 北京 100101; 2. 香港特别行政区政府渔农自然护理署, 香港特别行政区 999077)

摘要: 本研究在 2017–2019 年期间利用新型大型飞行阻隔器在香港 8 个样地 (八仙岭、西贡、城门、马鞍山、大帽山、大榄、地塘仔、石壁) 开展了甲虫采集, 整理鉴定出 11 科 15 种罕见甲虫, 其中包括中国新纪录属种 3 个, 香港新纪录科 1 个, 香港新纪录属 7 个, 香港新纪录种 5 个。在此基础上, 对飞行阻隔器在获取罕见甲虫标本方面的效能进行了评价, 并给出了飞行阻隔器未来的改造建议与方向, 探讨了飞行阻隔器在生物多样性调查中的应用潜力。

关键词: 飞行阻隔器; 香港; 生物多样性; 鞘翅目; 新纪录

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674–0858 (2022) 05–1113–11

Evaluation of efficiency of flight interception trap (FIT) in collecting rare beetles and application potential of FIT in biodiversity research: A case study in Hong Kong

CHEN Yan-Dong¹, YANG Hai-Dong¹, LEUNG Man-Hin², CHEUNG Ka-Hong², LEE Yiang-Ming², HE Xu¹, HUANG Zheng-Zhong¹, BAI Ming^{1*} (1. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Beijing 100101, China; 2. Agriculture, Fisheries and Conservation Department, Hong Kong SAR Government, Hong Kong SAR 999077, China)

Abstract: In this study, specimens collected by the research group of Morphology and Evolution of Beetles, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences and the Agriculture, Fisheries and Conservation Department, Hong Kong SAR Government from eight sampling sites in Hong Kong during 2017–2019 with a novel large-scale flight interception trap (FIT) were examined. Fifteen rare species of beetles from 11 families were identified. Among them, 3 genera and species were recorded in China for the first time, and 1 family, 7 genera and 5 species were newly recorded in Hong Kong. Based on these findings, this paper evaluated the efficiency of FIT in collecting rare beetles, compared various types of FIT and other similar traps, and discussed the application potential of FIT in biodiversity research.

Key words: Flight interception trap; Hong Kong; biodiversity; Coleoptera; new record

基金项目: 香港甲虫多样性评估项目 (AFCD/SQ/214/16); 科技部国家重点研发计划项目睡科技基础资源调查专项 (2022YFC2601200, 2022FY100500); 国家自然科学基金 (31900317, 31961143002); 广东省科学院建设国内一流研究机构行动专项资金项目 (2020GDASYL–20200301003)

作者简介: 陈炎栋, 男, 1993 年生, 汉族, 浙江绍兴市人, 博士研究生, 研究方向为中国隐食甲科分类, E-mail: chenyardong@ioz.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence: 白明, 博士, 研究员, 主要研究方向为昆虫分类和进化, E-mail: baim@ioz.ac.cn

收稿日期 Received: 2021–03–11; 接受日期 Accepted: 2021–04–19

鞘翅目 Coleoptera (通称甲虫) 是生物界最大的目级阶元, 约占世界已知昆虫种类的 40%, 约占世界已知动物种类的 25% (Ślipiński *et al.*, 2011)。甲虫以其极高的生物量和多样化的生态位, 深刻地影响着地球上的各类生态系统, 并与人类日常生活息息相关。鞘翅目物种多样性的测度及其物种多样性的形成及维持机制一直吸引着众多学者的目光。

中国是一个幅员辽阔、自然资源丰富的国家, 是研究鞘翅目物种多样性的一个热点地区。然而我国的鞘翅目研究起步较晚, 从 20 世纪 30 年代起, 我国才有专家进行少数类群的研究 (聂瑞娥等, 2019)。迄今为止, 世界范围内已知甲虫约 40 万种 186 科, 我国鞘翅目昆虫已纪录约 3.6 万种 139 科 (2011 年鞘翅目科级系统: Bouchard *et al.*, 2011), 约占世界已知类群的 9%。中国甲虫大多数已知物种是由国外学者发表的, 其模式标本也大多保存在国外博物馆, 国内各大高校、博物馆收藏的鞘翅目标本数量、定名标本和模式标本数量相较已知的种数甚远。此外, 各类群之间的研究并不平衡, 一些栖息在特殊生境 (如朽木、枯枝落叶层等) 的类群还有很多新种等待发掘研究 (聂瑞娥等, 2019)。造成这个现状的主要原因是我国甲虫调查手段比较单一, 同时调查的深度、广度都不够, 还存在很多类群、区域和栖境的调查盲点, 此外不同类群和地区之间的研究深度也差异较大。目前我国甲虫调查手段以主动式采集为主, 比如网捕法、灯诱法、筛网法等, 被动式监测手段较少, 如飞行阻隔器、马氏网等。

飞行阻隔器 (简称飞阻, Flight Interception Trap 或 Window Trap) 是起源于国外的一种简单、有效、可在较长时间内 (如几个月) 长期使用的昆虫采集装置。其主要原理是利用一块屏幕拦截飞行中的昆虫, 与马氏网 (Malaise trap) 利用部分昆虫的向上性不同 (Malaise, 1937), 飞阻通过其下方的收集器收集撞到屏幕上掉下的昆虫。对于鞘翅目这类大多数物种具有假死性的类群而言 (Humphreys and Ruxton, 2018), 飞阻是一种十分有效的采集手段。飞行阻隔器在国外具有较长的使用历史, 最早的近似装置可追溯到 1856 年 (Leather, 2015), 用于防止家蝇 *Musca domestica* L. 等昆虫飞入屋内并起到捕捉这些昆虫的作用。而最早有记载的现代意义上的飞行阻隔器是在 1954 年, 被用于调查加拿大森林中的小蠹

(Chapman and Kinghorn, 1955; Leather, 2015)。我国使用飞行阻隔器在昆虫多样性调查中的时间较晚, 最早由杨宗武等 (2009) 介绍了一种名为飞行拦截网的装置, 2008 - 2010 年间孟令曾等在纳板河自然保护区使用一种小型十字型飞阻捕获了一些罕见的鞘翅目昆虫 (Meng *et al.*, 2013)。近年来生物多样性的降低程度及其成因吸引了众多学者以及公众的注意, 相关研究报道激起了人类对于自身与自然环境的关系的深度思考 (Cardinale *et al.*, 2012)。然而大多数相关研究仅着眼于某一特定地区, 缺乏全球尺度的权威评估结果。在此背景下, 经过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 Alfred Vogler 教授反复研讨, 最终与诸多国内外同行共同提出了 “SITE100 (Site-based, Insects, Taxonomy, Environment, 100)” 国际大科学计划, 项目计划在全球选定 100 个大样地, 从物种多样性、形态多样性和分子多样性 3 个维度来探究全球昆虫多样性格局。中科院动物所鞘翅目形态与进化研究组为了满足该项目长期, 大范围的昆虫采集需求, 经过吸收国内外同行的经验, 设计了一个新型大型飞阻, 其宽度约为两米, 采集效率大幅提升 (聂瑞娥等, 2017), 该设计还申请了专利 (专利号: ZL 2016 2 1371354.8)。经过在秦岭、香港、广东、湖南、广西、四川、江西等地的布设, 该新型飞阻的设计趋于成熟。其后, 国内多家研究机构在多地架设单屏幕飞行阻隔器以用来调查昆虫多样性, 取得了良好的效果。

飞行阻隔器不仅是调查地区昆虫物种多样性的有效工具, 同时也是某些难以以普通手段大量采集的类群的有效采集、监测手段。例如, 一些国外学者使用飞行阻隔器作为监测罕见好木性甲虫 (saproxylic beetles) 的方式 (Šag *et al.*, 2016)。好木性甲虫通常生活在朽木或者活木中, 仅在交配期或其他特殊时期才会离开生活的环境, 因为其生命活动与森林正常物质循环息息相关, 常常被认为具有生态指示作用 (Bouget *et al.*, 2008)。一些类群 (例如小蠹) 通常被视作林业害虫, 对其的监测能够减少经济林的损失。通过常规手段调查好木性甲虫往往需要破坏其生活的木块环境 (翻开树皮或者劈碎木块), 使得小生境的种群难以继续维持, 而飞阻作为不需要破坏小生境的方式更合适于多样性监测。同时, 昆虫学家也利用飞行阻隔器采集特定的鞘翅目类群, 例如

Degallier 等 (2011) 通过飞阻采集了一定数量的罕见的 *Ebonius* 属的阎甲, Peck 和 Davies (1980) 借助飞阻采集了大量球罩甲。

为了验证飞阻的采集效能, 本研究选择香港为样地, 同时也将其作为“SITE100”项目的样地之一。之所以选择香港, 第一, 香港作为国际金融中心, 其城市化程度非常高。近代各专家学者在香港采集甲虫时, 主要采用了主动式采集方法, 能够采集到的种类有限, 故通常认为香港地区甲虫多样性不高。第二, 与上述观点相左的一个现象是香港拥有完好的自然生态系统, 蕴含了极高的植物生物量和丰富的生物多样性。第三, 香港郊野公园面积占香港特区面积约四成, 但郊野公园之间并不是全部联通起来的, 故香港一些特有种的分布区非常狭窄, 这也是香港甲虫标本采集难度较大的一个原因。本研究是基于中国科学院动物研究所鞘翅目研究组于 2017–2019 年在香港设定的 8 个样地 104 个大型飞阻所获得的昆虫样本。经过整理, 发现了一些罕见的甲虫种类, 这些种类几乎无法用主动采集方式获得, 或者至少无法在一次采集中获得较多标本。本文对这些罕见甲虫进行了整理归纳, 报道中国新纪录属种 3 个, 香港新纪录科 1 个, 香港新纪录属 7 个, 香港新纪录种 5 个。期望通过本研究, 展示飞阻在昆虫多样性调查中的效能, 通过比较飞阻各元件设计、布设方式以及近似采集装置对所采集到的种类、效率的影响, 探讨下一代飞阻的升级改造方向, 以充分发挥飞阻在生物多样性调查研究中的潜能, 最终为我国昆虫多样性监测手段提供有益参考, 推动我国昆虫学事业发展。

1 材料与方法

1.1 飞阻材料与工具

PVC 屏幕 (长×宽=1.5 m×1.9 m)、PVC 水槽 (长×宽×高=2.0 m×0.125 m×0.1 m)、竹竿 (2.5 m)、绳子、铁丝、防水胶、钳子、刀子、打孔器、镰刀等。

1.2 组装步骤

1) 准备 PVC 水槽, 先将两个吊接器放到水槽靠近两头的位置, 再将左右封盖扣好, 用防水胶涂抹均匀固定, 晾干备用, 防止漏水。

2) 准备飞阻屏幕, 先用打孔器在 PVC 屏幕的长边一侧打孔, 两孔间隔一般 30 cm 左右, 然后用

扎带穿过小孔将竹竿与 PVC 屏幕连接起来, 竹竿左右各预留 30 cm 左右, 将两根两米左右的尼龙绳固定在竹竿的两端备用。

3) 屏幕与水槽连接, 将水槽的两个吊接器分别与竹竿的两条尼龙绳绑定, 再用麻绳将竹竿与树干连接, 将整个装置吊起, 水槽离地面约 1 m 左右, 最后用细绳将水槽与两边的树干绑定, 确保水槽不会由于大风剧烈摇晃。

1.3 标本保存液配方

采用 SDS + EDTA 混合液以获取可供分子实验所需的样品。使用终浓度为 2% SDS 溶液和终浓度为 0.1 mol/L EDTA (pH 8.0) 混合液效果最好。具体配置方法: 1 L 混合液 = 20 g SDS 粉末和 37.2 g EDTA 粉末加水定容, 用 NaOH 调节 pH 至 8.0。

1.4 样本收集

采用隔天访问飞阻一次的频率, 回收水槽中的采集到的昆虫, 将其保存在纯酒精中, 以备后续研究。2017–2019 年采集时间均持续了约一个月, 采集时间跨度为 4 月底到 6 月初。

1.5 样地选择

2017–2019 年间, 依据香港本身的自然地理情况, 选取了 8 个样地: 八仙岭郊野公园 (2017)、西贡东郊野公园 (2017)、城门郊野公园 (2017)、马鞍山郊野公园 (2017)、大帽山郊野公园 (2018)、大榄郊野公园 (2018)、北大屿及南大屿郊野公园地塘仔 (2019)、南大屿郊野公园石壁 (2019) (样地在香港的位置见图 1)。每个样地选取 13 个样点架设飞阻。

1.6 分类系统

本文沿用 Bouchard 等 (2011) 鞘翅目分类系统。

2 结果与分析

经过 3 年的采集, 共获得了约 1 200 种香港甲虫标本, 分属于 3 亚目 75 科。其中不乏罕见甲虫种类, 包括中国新纪录属种 3 个、香港新纪录科 1 个、香港新纪录属 7 个、香港新纪录种 5 个。以下按照 2011 年鞘翅目分类系统, 给出这些罕见香港甲虫的名录, 并在附件中提供详细的标本采集信息、鉴别特征、分布和注释等方面的内容。

2.1 香港罕见甲虫名录

鞘翅目 Coleoptera

原鞘亚目 Archostemata

- 长扁甲科 Cupedidae
 尖脊枪长扁甲 *Tenomerga trabecula* Neboiss,
 1984 (图 2-a)
- 肉食亚目 Adapahga
 步甲科 Carabidae
 约氏棒角甲 *Paussus jousselinii* Guérin-
 Meneville, 1836 (图 2-b, c)
 顶斑圆棒角甲 *Platyrhopalus apicalis*
 Wasmann, 1922 (图 2-d)
 沃氏原棒角甲 *Protopaussus walkeri* Waterhouse,
 1897 香港新纪录属种 (图 2-e, f)
- 多食亚目 Polyphaga
 隐翅虫科 Staphylinidae
 华蜜隐翅虫 *Sinophilus* sp. (图 2-g, h)
 沙巴驹隐翅虫 *Micropolemon sabahensis*
 Kistner, 2002 中国新纪录属种 (图 2-i, j)
- 皮金龟科 Trogidae
 皮金龟 *Trox* sp. (图 3-a, b)
- 金龟科 Scarabaeidae
 暗蓝异花金龟 *Thaumastopeus nigritus*
 (Frölich, 1792) (图 3-c, d)
- 扇角甲科 Callirhipidae
 扇角甲 *Callirhipis* sp. (图 3-e, f)
- 姬蕈甲科 Sphindidae
 卵姬蕈甲 *Aspidophorus* sp. 香港新纪录科属
 种 (图 4-a, b)
- 球棒甲科 Monotomidae
 日本长颈球棒甲 *Shoguna rufotestacea* Lewis,
 1884 中国新纪录属种 (图 4-g, h)
- 姬扁甲科 Laemophloeidae
 二列窄姬扁甲 *Leptophloeus foveicollis* Sasaji,
 1986 中国新纪录属种 (图 4-i, j)
- 寄甲科 Bothrideridae
 宽沟雕寄甲 *Leptoglyphus vittatus* Sharp, 1885
 香港新纪录属种 (图 4-c, d)
 窄锥寄甲 *Sosylus gracilis* (Sharp, 1885)
 香港新纪录属种 (图 4-f, k)
- 三锥象科 Brentidae
 六沟铲喙锥象 *Cerobates sexsulcatus*
 Motschulsky, 1858 (图 4-e)

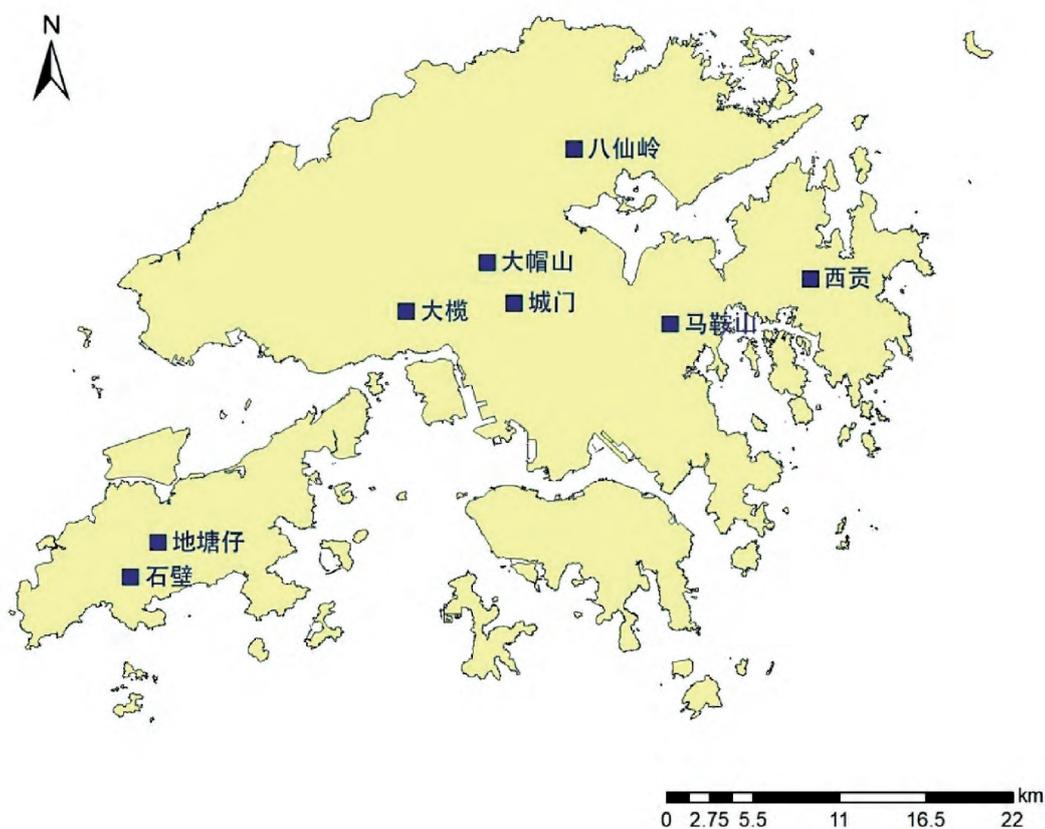


图 1 选取样地在香港位置示意图

Fig. 1 Location of the sampling sites in Hong Kong

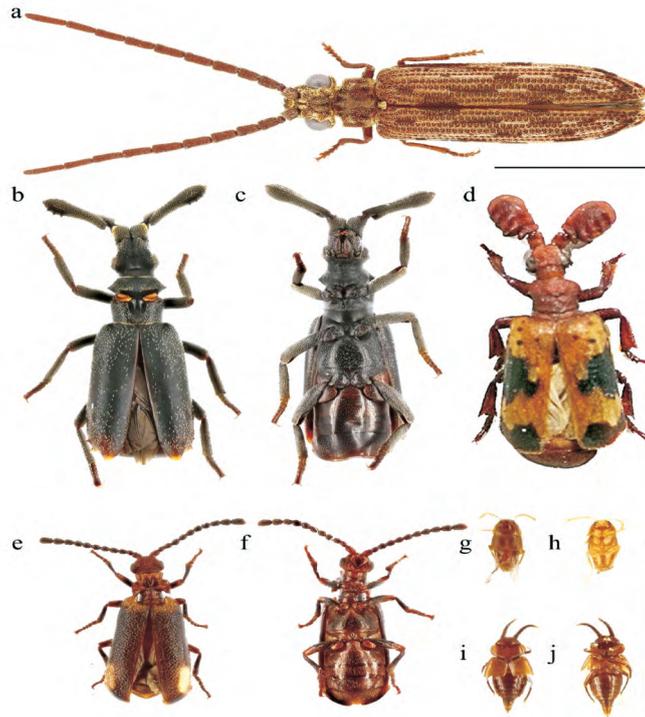


图2 通过飞阻采集到的罕见甲虫 (一)

Fig. 2 Rare beetles collected with FIT (1)

注：a, 尖脊枪长扁甲 *Tenomerga trabecula* (背面)；b, c, 约氏棒角甲 *Paussus jousselinii* (背面, 腹面)；d, 顶斑圆棒角甲 *Platyrhopalus apicalis* (背面)；e, f, 沃氏原棒角甲 *Protopaussus walkeri* (背面, 腹面)；g, h, 华蜜隐翅虫 *Sinophilus* sp. (背面, 腹面)；i, j, 沙巴驹隐翅虫 *Micropolemon sabahensis* (背面, 腹面)。比例尺 = 5 mm。Note: a, *Tenomerga trabecula* (dorsal view)；b, c, *Paussus jousselinii* (dorsal and ventral view)；d, *Platyrhopalus apicalis* (dorsal view)；e, f, *Protopaussus walkeri* (dorsal and ventral view)；g, h, *Sinophilus* sp. (dorsal and ventral view)；i, j, *Micropolemon sabahensis* (dorsal and ventral view). Scale = 5 mm.

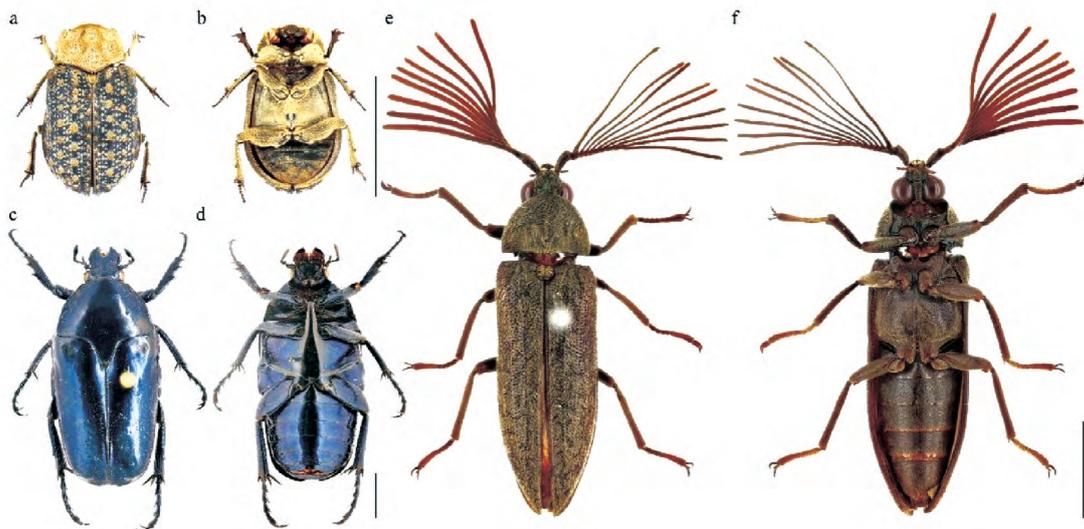


图3 通过飞阻采集到的罕见甲虫 (二)

Fig. 3 Rare beetles collected with FIT (2)

注：a, b, 皮金龟 *Trox* sp. (背面, 腹面)；c, d, 暗蓝异花金龟 *Thaumastopeus nigritus* (背面, 腹面)；e, f, 扇角甲 *Callirhipis* sp. (背面, 腹面)。比例尺 = 5 mm。Note: a, b, *Trox* sp. (dorsal and ventral view)；c, d, *Thaumastopeus nigritus* (dorsal and ventral view)；e, f, *Callirhipis* sp. (dorsal and ventral view). Scale = 5 mm.

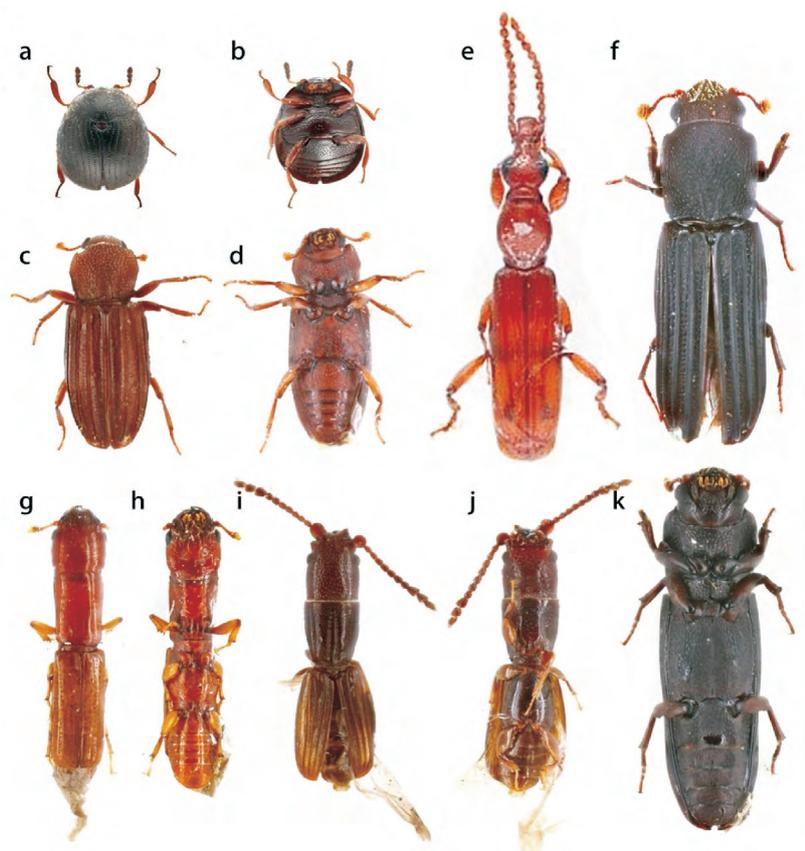


图4 通过飞阻采集到的罕见甲虫 (三)

Fig. 4 Rare beetles collected with FIT (3)

注: a, b, 卵姬蕈甲 *Aspidophorus* sp. (背面, 腹面); c, d, 宽沟雕寄甲 *Leptoglyphus vittatus* (背面, 腹面); e, 六沟铲喙锥象 *Cerobates sexsulcatus* (背面); f, k, 窄锥寄甲 *Sosylus gracilis* (背面, 腹面); g, h, 日本长颈球棒甲 *Shoguna rufotestacea* (背面, 腹面); i, j, 二列窄姬扁甲 *Leptophloeus foveicollis* (背面, 腹面)。比例尺=5 mm。Note: a, b, *Aspidophorus* sp. (dorsal and ventral view); c, d, *Leptoglyphus vittatus* (dorsal and ventral view); e, *Cerobates sexsulcatus* (dorsal view); f, k, *Sosylus gracilis* (dorsal and ventral view); g, h, *Shoguna rufotestacea* (dorsal and ventral view); i, j, *Leptophloeus foveicollis* (dorsal and ventral view). Scale = 5 mm.

3 结论与讨论

3.1 飞阻在高度城市化区域中的采集效能

香港甲虫项目组在 2017 - 2019 年间通过飞阻共采集到罕见甲虫 11 科 15 种, 其中 2 科 4 种与社会性昆虫密切相关, 5 科 6 种为好木性昆虫, 2 科 2 种幼虫生活在朽木中 (1 种成虫吸食树汁, 1 种成虫常见于朽木附近), 1 科 1 种为菌食性甲虫, 1 科 1 种为尸食性甲虫。以上大部分种类都与朽木或落叶层相关, 这些生境都是以往国内甲虫多样性调查过程中易忽略的, 尤其是朽木生境中往往存在种类丰富的小型甲虫。这些小型甲虫绝大多数会生活在朽木的缝隙、孔洞中, 因此难以通过常规的采集方式获得。由于这类甲虫大多会在繁

殖期离开原本生活的朽木, 以达到扩大种群的目的。因此可以通过长期架设的大型飞阻调查这类甲虫在某一地区的多样性。对于尸食性、菌食性、蚁栖、白蚁栖甲虫也是如此, 长期架设的飞阻具有更高的概率采集到寻找食物、寄主的成虫。

对于强人为干扰的区域, 例如高度城市化的香港, 城市化进程加大了调查这些特殊生境中甲虫多样性的难度。而长期架设的大型飞阻则能提高监测到这些甲虫的概率。本次调查过程中通过飞阻监测到的罕见甲虫, 其中 7 种未曾在香港有过纪录, 长扁甲、棒角甲等过去在香港也仅有零星纪录。通过长期架设的大型飞阻, 本研究在香港地区纪录到了这些种类, 一定程度说明了飞阻在采集罕见甲虫中的应用价值。

对于其他的较为常见的甲虫, 大型飞阻在香

港采集具有良好的效果（表 1）。以 2017 年在香港城门郊野公园的甲虫采集结果为例，表 1 中展示了部分样点飞阻的采集期间采到的甲虫数目。从

表中可见到单一飞阻在特殊时期可以在短时间内采到较大数目的甲虫。即使在后期受到雨季的影响，所有飞阻仍能够采到一定数目的甲虫。

表 1 香港城门郊野公园 2017 年采集期间部分飞阻采集到的甲虫数量统计表（05-23 - 06-14）

Table 1 Number of beetles collected with FITs in Shing Mun Country Park, Hong Kong, during 2017-05-23 - 06-14

日期 Date (mm-dd)	FIT1	FIT2	FIT3	FIT4	FIT5	FIT6	FIT7
05-23 下午 - 05-28 上午 05-23afternoon-05-28morning	218	126	67	220	160	127	312
05-28 下午 - 05-30 上午 05-28afternoon-05-30morning	96	46	36	98	89	24	662
05-30 下午 - 06-01 上午 05-30afternoon-06-01morning	62	49	45	52	88	61	210
06-01 下午 - 06-03 上午 06-01afternoon-06-03morning	65	36	18	38	26	39	104
06-03 下午 - 06-05 上午 06-03afternoon-06-05morning	46	24	39	41	41	32	63
06-05 下午 - 06-07 上午 06-05afternoon-06-07morning	46	25	44	52	44	51	25
06-07 下午 - 06-09 上午 06-07afternoon-06-09morning	39	43	59	54	77	57	77
06-09 下午 - 06-11 上午 06-09afternoon-06-11morning	31	64	50	67	83	67	48
06-11 下午 - 06-14 上午 06-11afternoon-06-14morning	1	13	15	7	丢失	丢失	10

3.2 飞阻的改造潜力

本次采集中所使用的飞阻优势在于长期监测，单次大量收集，提高采集到罕见种类的概率。但是在采集过程中，发现对于罕见甲虫的采集以及在强人为活动的地区存在的问题。本次采到的罕见种类的数量较少，同时部分具有类似习性的且有纪录的种类并未采到。此外，该飞阻在香港这类长期有大风干扰的区域容易损坏，长期使用需要经常维修。通过对一些文献的调查，以下通过飞阻的组成、安装位置、国外对飞阻的改进方式、类似飞阻的装备比较这 4 个方面探讨如何进一步提高飞阻在获取罕见甲虫标本的效能以及在生物多样性调查中应用潜力。

3.2.1 飞阻设计对采集效率及种类的影响

飞阻的构成元件相对简单，但一些元件上的不同可能会影响采集效率以及采集到的类群。这

些元件上的不同主要如下：1、阻隔板的大小；2、阻隔板的类型：十字或平面；3、阻隔板的颜色；4、阻隔板是否带黏性；5、收集装置内的保存液，以及保存液是否会起到诱剂的作用；6、收集装置的类型；7、收集装置的颜色。

Bouget 等（2008）比较了十字屏幕和平板屏幕（累积面积相同，即单屏幕平板的面积是十字屏幕的两倍），黑色屏幕和透明屏幕的飞阻在采集好木性甲虫的效率以及种类上的区别。对比发现平板采集到的种类多于十字型屏幕（平均值约是十字的 2.8 倍）且平板采到的特有种类（仅平板采到的种类）约为十字型的 5 倍；而透明屏幕与黑色屏幕采到的物种多样性区别不大，但两者都有较多的仅通过该类屏幕采到的类群。同时该实验也一定程度上说明了飞阻屏幕尺寸对采集效果的影响，越大的屏幕对采集效果的贡献可能是非

等比增长的,但越大的屏幕对飞阻挂设的限制越多,同时也越容易被大风损坏。十字型飞阻对采集贡献不大,不过实验中平板飞阻与十字型飞阻的单屏幕的大小不同,无法确定同样大小单屏幕的采集效率。一般的十字型飞阻都体型较小,适合携带,对于一些短期采集,采用十字型飞阻可能更为合适。屏幕的颜色(黑、透明)对采集到的物种丰度影响不大,但两者独自采集到的类群都很多,说明不同的屏幕颜色对不同的类群采集效果不同,非单一性的屏幕颜色可能有助于获取更多不同种类的甲虫。

其他相关研究较少, Bouget (2009) 探究了酒精收集液对采集的影响,酒精收集液会明显提高采集到的好木性甲虫的数量,但是在密林中采集到的物种丰度并未明显高于无酒精的收集液,在空旷环境中物种丰度明显高于无酒精的收集液,可能还是受到环境的影响。

本次研究所采用的飞阻为大型透明平板飞阻,并使用 SDS + EDTA 混合液(无吸引作用)作为收集液。即使在人为干扰强的地区,本研究所采用的大型平板仍可以在一次收集间隔内(一般为两天)收集到相当数量的甲虫(见表1)。并且,对于上文所述的罕见甲虫(一般种群较小),大型平板飞阻也能有更高的采集概率。但是,大型平板飞阻的弊端在本研究中也十分明显。在香港这类经常会有大风天气的地区(尤其是有台风季的地区),大型平板飞阻的使用寿命较短,在经历几次大风天气后,容易被损坏。在另外一方面,本研究中采用的飞阻的各组件都不具有吸引甲虫的效果,使得采集到的各科甲虫的种类数更为均匀,也使得采集到的种类受到飞阻布设的环境的影响更大,有利于分析采集环境与采集到的种类间的联系。不过,这也使得采集到的罕见甲虫的数量都不多,不适宜于针对性的采集。

3.2.2 飞阻安装位置对采集效率及种类的影响

飞阻安装的位置也会影响其采集效率与采集的类群,例如:飞阻悬挂的高低,飞阻自由悬挂还是紧贴树木以及飞阻悬挂在密林中还是空旷地带。

Bouget 等(2008)探究了飞阻悬挂高低(2 m 高与 15 m 高)的影响,发现低处的物种丰度远高于高处,同时低处与高处所采集到类群区别较大。但 Barsulo 和 Nakamura (2011)在日本红松林中高低不同的飞阻中采集到的昆虫,高处的反而会高

于低处的。由此,高低对采集的影响还受到环境因素的影响,需要因地制宜,并且根据所需要的类群设置飞阻的高度非常重要,需要依据所需昆虫的习惯设置飞行高度。

Bouget 等(2009)探究了飞阻悬挂在林间空旷地带与密林中的区别,发现林间空旷区域采集到的甲虫数量以及其他量度都要高于密林中,尤其是物种丰度远高于密林中。不过同样,两者采集到的物种有一定的不同,需要根据类群进行选择。

Birkemoe 和 Severdrup-Thygeson (2015)探究了飞阻悬挂环境与采集到的类群之间的关系。他们发现悬挂在朽木旁的飞阻采集到的好木性甲虫的数量以及种类远多于独立悬挂的飞阻。通过一定的方法可以比较得出采集到样品中的好木性甲虫的种类数量,可以进行接下来的生态学分析,同时也说明飞阻采集到的类群与其周围的环境密切相关。

本次研究中的飞阻都设置在离地 1 m 处,加上 1.9 m 的屏幕高度,可以覆盖 1 ~ 2.9 m 内的空间。同时,飞阻都通过自由悬挂的方式设置在林下或者接近林缘处。本次采集到的罕见甲虫大多为好木性甲虫(saproxyllic beetle),且飞行能力大多不强。1 ~ 2.9 m 的高度范围可以覆盖绝大多数飞行性甲虫,但是无法采集低空飞行或不具有飞行能力的甲虫(垂地马氏网采集到了其他无翅的蚁栖甲虫),同时对于一些飞行高度较高的甲虫(例如大型吉丁),这个高度也无法将其覆盖在内。自由悬挂的方式使得采集到的甲虫科较为均匀,不过罕见好木性甲虫的总体数量并不多,针对性采集将其悬挂在朽木边会更有力。最后,本飞阻需要悬挂在树木上使其架设位置受到限制,难以放置在林间以外的环境。

总而言之,飞阻放置的空间位置会极大地影响到可以采集到的种类,通过飞阻采集甲虫时要充分考虑到采集对象的习性。

3.2.3 飞阻设计的进化

自 1955 年飞阻出现在昆虫采集中以来,许多昆虫学者或生态学者研制了多样化的飞阻陷阱用于更有效率的采集。

Hines 和 Heikkinen (1977) 年发展出了十字型便携飞阻用于便捷检测昆虫。随后, Wilkening 等(1981)在十字型飞阻上方放置收集罐来达到马氏网的复合设计。Basset (1988)通过在马氏网下方悬挂飞阻的方式设计了更大的复合型飞阻。

近年来又出现了整合度更高的复合型飞阻用于昆虫采集以及热带雨林林冠层调查，国内也有一些单位使用其调查热带雨林林冠物种多样性。Russo等（2011）又在此基础上通过地基的十字飞阻改变下方收集器为黄盘的方式设计了三种合一的复合型飞阻。同时，Barsulo和Nakamura使用十字型飞阻以及黄色的收集装置（起到黄盘的效果）调查了日本红松林的飞行甲虫的科级多样性。版纳植物园在近年热带雨林昆虫调查中设计使用了与灯诱相结合的小型十字型飞阻。Czokajlo等（2003）设计了一种可以放置信息素诱剂的十字飞阻，现在我国林业害虫监测也使用了类似的装置。Bolliger等（2020）设计了一种基于十字型小型飞阻的自动换收集瓶的装置，可以用收集每天不同时段的样品，可以用于更深入的生态学分析。

在单屏幕飞阻方面，大的改进非常少，自1955年以来，总体的形式几乎一样。Peck和Davies（1980）使用了马氏网的材料制作大面积飞阻的屏幕，在屏幕上喷洒杀虫剂来使攀附在其上的昆虫掉落。其后，也有学者使用这套设备但未使用杀虫剂也获得了不错的效果。使用网布作为屏幕虽然一些昆虫可能不会掉落，但是对于大风环境下相较传统屏幕可以减少被破坏的风险。

综上，对飞阻的改进主要集中在便携化和多类型装置的整合化上。整合化阻隔装置的出现极大地便利了对地区物种生物多样性的综合调查，期待更多国内单位使用该类装置探索中国昆虫的物种多样性组成。

本研究所用飞阻主要沿用单屏幕飞阻，同时搭配马氏网使用。对于长期采集来说，大型平板飞阻会是更好的选择。对于强人为干扰区域，甲虫一般种类单一，种群数量较低。飞阻的优势在于长期地采集，所以对于这类地区，足够大的平板飞阻是最合理的采集方式。本文所用飞阻的主要缺点如上文提到，无法兼顾低空与高空甲虫。在本研究中，低空甲虫主要通过埋罐以及马氏网采集，但是由于甲虫在飞行过程中碰到障碍往往会假死掉落，因此马氏网采集甲虫的效果在大多数时候不如飞阻，按高度分层，针对性使用各类改良飞阻会是更彻底的采集方式。

3.2.4 飞阻与其他被动式阻隔陷阱的比较

近似于飞阻的阻隔式陷阱设备有马氏网（Malaise trap），多层漏斗陷阱（multiple-funnel trap）以及木材陷阱（log emergence trap）。

马氏网利用飞行昆虫受到阻碍时习惯向上绕过阻碍的特性，在上方收集昆虫。因此，马氏网往往在采集膜翅目、双翅目时具有良好的效果，对于鞘翅目的采集效果一般不如飞阻（聂瑞娥等，2017；Knuff *et al.*，2019），不过有时对于特殊环境、特殊类群会有很好的效果。Hosking（1979）在新西兰利用马氏网、飞阻等设备进行鞘翅目采集发现马氏网的效果远好于飞阻，这可能与新西兰甲虫大多飞行能力较弱有关。在本研究的采集过程中发现，下摆垂地的马氏网也可以采集一些不具备飞行能力的甲虫，可以作为飞阻采集的补充。

多层漏斗陷阱利用了蛀木性甲虫通过轮廓寻找寄主的特性（Lindgren，1983），适合于采集小蠹、象甲、小型天牛等蛀木性甲虫，但对于广泛的鞘翅目采集，其并不具有优势。国内一些研究所布设了大量多层漏斗陷阱待查象甲、小蠹多样性，取得了一定成果。

木材陷阱采用了和马氏网类似的设计，用一个帐篷包裹朽木后放置收集朽木中爬出的甲虫（Owen，1989；Grove，2000；Gouix and Brustel，2012），用于针对性的采集好木性甲虫，具有非常好的效果；吴捷等（2013）在天目山使用类似设备调查柳杉腐木甲虫多样性取得了较好的效果。

综上，在类似的阻隔设备中，马氏网是与飞阻近似的设备，现在也有将两者合一的改进复合式马氏网出现，对于甲虫采集与检测而言是有利地发展。多层漏斗与木材陷阱更有针对性，针对小型蛀木性甲虫与朽木上的甲虫，适合于甲虫多样性调查时特定类群多样性补充，木材陷阱对本文中提到的罕见甲虫可能是更好的富集采集方式。

3.3 展望

鞘翅目的多样性一直是一个研究热点，但我国鞘翅目多样性的本底工作远不及发达国家，很多类群研究非常不足。飞阻作为一个可供长期监测，采集的装置，可以提供以往调查不充分的类群的样品。如果飞阻的使用在国内普及，许多地方可以进行长期的多样性监测，可以帮助摸清家底，从而更深入地回答中国鞘翅目的起源，分化历史，可以回答中国鞘翅目多样性的真实面貌，可以回答昆虫种群衰退在中国的情况。

致谢：感谢香港渔农自然护理署陈坚峰先生、叶彦博士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、聂瑞娥博士、路园园博士、佟一杰博士、阮用颖博士、崔俊芝女士和李猷博士在标本采集、标本整理、数据收集和文稿撰写等方面提供的帮助。

参考文献 (References)

- Aoki J, Narukawa N. A new species of the genus *Sosylus* from Japan (Coleoptera, Bothrideridae) [J]. *Elytra*, 2013, 3 (1): 105 – 111.
- Aoki J. Four species of the genus *Leptoglypus* from Japan (Coleoptera, Bothrideridae) [J]. *Elytra*, 2011, 1 (2): 263 – 271.
- Arndt E, Beutel RG, Will KW. 7.10. Carabidae. In: Beutel RG, Leschen RAB, eds. *Coleoptera, Beetles, Volume 1. Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim): Handbook of Zoology [C]*. Berlin: Walter de Gruyter, 2016: 160 – 188.
- Barsulo CY, Nakamura K. Abundance and diversity of flying beetles (Coleoptera) collected by window traps in Satoyama Pine Forests in Noto Peninsula, Japan, with special reference to the management conditions; A family level analysis [J]. *Far Eastern Entomologist*, 2011, 222: 1 – 23.
- Basset Y. A composite interception trap for sampling arthropods in tree canopies [J]. *Australian Journal of Entomology*, 1988, 27 (3): 213 – 219.
- Berghoff SM, Weissflog A, Linsenmair KE, et al. Nesting habits and colony composition of the hypogaecic army ant *Dorylus (Dichthadia) laevigatus* Fr. Smithb [J]. *Insectes Sociaux*, 2002, 49 (4): 380 – 387.
- Birkmoe T, Sverdrup – Thygeson A. Trophic levels and habitat specialization of beetles caught on experimentally added aspen wood: Does trap type really matter? [J]. *Journal of Insect Conservation*, 2015, 19 (1): 163 – 173.
- Bolliger J, Collet M, Hohl M, et al. Automated flight interception traps for interval sampling of insects [J]. *PLoS ONE*, 2020, 15 (7): e0229476.
- Bouchard P, Bousquet Y, Davies AE, et al. Family – group names in Coleoptera (Insecta) [J]. *ZooKeys*, 2011, 88: 1 – 972.
- Bouget C, Brustel H, Brin A, et al. Evaluation of window flight traps for effectiveness at monitoring dead wood-associated beetles: The effect of ethanol lure under contrasting environmental conditions [J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2009, 11 (2): 143 – 152.
- Bouget C, Brustel H, Brin A, Noblecourt T. Sampling saproxylic beetles with window flight traps: Methodological insights [J]. *Revue D'écologie*, 2008, sup10: 21 – 32.
- Cardinale JC, Duffy JE, Gonzalez A, et al. Biodiversity loss and its impact on humanity [J]. *Nature*, 2012, 486: 59 – 67.
- Chapman JA, Kinghorn JM. Window flight traps for insects [J]. *The Canadian Entomologist*, 1955, 87 (1): 46 – 47.
- Czokajlo D, McLaughlin J, Ayyash LA, et al. Intercept™ panel trap (INT PT) effective in management of forest Coleoptera. In: McManus ML, Liebhold AM, eds. *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects [C]*. Poland: Krakow, 2003: 125 – 126, 311.
- Degallier N, Leivas FW, Moura DP. Histerid beetles of French Guiana. V. Revision of the genus *Ebonius* Lewis (Coleoptera, Histeridae, Omalodini) [J]. *Zootaxa*, 2011, 2824 (1): 44 – 52.
- Follett PA, Kawabata A, Nelson R, et al. Predation by flat bark beetles (Coleoptera: Silvanidae and Laemophloeidae) on coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae) in Hawaii coffee [J]. *Biological Control*, 2016, 101: 152 – 158.
- Ge SQ, Yang XK. Two new Chinese species of *Tenomerga* Neboiss (Coleoptera: Cupedidae): With a world catalog of the genus [J]. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 2004, 106: 631 – 638.
- Geiselhardt SF, Peschke K, Nagel P. A review of myrmecophily in ant nest beetles (Coleoptera: Carabidae: Paussinae): Linking early observations with recent findings [J]. *Naturwissenschaften*, 2007, 94 (11): 871 – 894.
- Goux N, Brustel H. Emergence trap, a new method to survey *Limoniscus violaceus* (Coleoptera: Elateridae) from hollow trees [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21 (2): 421 – 436.
- Grove SJ. Trunk window trapping: An effective technique for sampling tropical saproxylic beetles [J]. *Memoirs of the Queensland Museum*, 2000, 46 (1): 149 – 160.
- Hájek J. World catalogue of the family Callirhipidae (Coleoptera: Elateriformia): With nomenclatural notes [J]. *Zootaxa*, 2011, 2914 (1): 1 – 66.
- Hines JW, Heikkinen HJ. Beetles attracted to severed virginia pine (*Pinus virginiana* Mill.) [J]. *Environmental Entomology*, 1977, 6 (1): 123 – 127.
- Hosking GP. Trap comparison in the capture of flying Coleoptera [J]. *New Zealand Entomologist*, 1979, 7 (1): 87 – 92.
- Humphreys RK, Ruxton GD. A review of thanatosis (death feigning) as an anti – predator behavior [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2018, 72 (2): 22.
- Jelínek J. Sphindidae. In: Löbl I, Smetana A, eds. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera, 4. Elateroidea – Derodontoidea – Bostrichoidea – Lymexyloidea – Cleroidea – Cucujoidea [C]*. Stenstrup: Apollo Books, 2007: 455.
- Kanao T, Eldredge KT, Maruyama M. A defensive body plan was pre – adaptive for termitophily in the rove beetle tribe Termitohospitini (Staphylinidae: Aleocharinae) [J]. *BioRxiv*, 2016: 083881.
- Knuff AK, Winiger N, Klein AM, et al. Optimizing sampling of flying insects using a modified window trap [J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2019, 10 (10): 1820 – 1825.
- Lau CSK. Checklist of Insects of Hong Kong [M]. Hong Kong: Agriculture, Fisheries and Conservation Department, 2019.
- Leather S. Entomological classics – the window (pane) flight intercept Trap [OL]. (2015 – 11 – 04) [2020 – 09 – 01] <https://simonleather.wordpress.com/2015/11/04/entomological-classics-the-window-pane-flight-intercept-trap>.

- Lewis G. A list of Coleoptera new to the fauna of Japan, with notices of unrecorded synonyms [J]. *The Entomologist*, 1893, 26: 150 – 153.
- Li JK. The Coleoptera Fauna of Northeast China [M]. Jilin: Jilin Education Publishing House, 1992. [李景科. 中国东北甲虫志 [M]. 吉林: 吉林教育出版, 1992]
- Lindgren BS. A multiple funnel trap for scolytid beetles (Coleoptera) [J]. *The Canadian Entomologist*, 1983, 115 (3): 299 – 302.
- Luna CE. Études Paussidologiques (Coleoptera Carab. Paussinae) [J]. *Annales Historico – Naturales Musei Nationalis Hungarici, Pars Zoologica*, 1967, 59: 259 – 274.
- Malaise R. A new insect – trap [J]. *Entomologisk Tidskrift*, 1937, 58: 148 – 160.
- Mantilleri A. Nouvelles données sur les espèces orientales du genre *Cerobates* Schoenherr, 1840 (Coleoptera, Brentidae) [J]. *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 2007, 112 (2): 257 – 261.
- Mantilleri A. Révision du genre *Cerobates* Schoenherr, 1840 (Insecta, Coleoptera, Brentidae) [J]. *Zoosystema*, 2005, 27 (3): 601 – 635.
- Meng LZ, Martin K, Weigel A, et al. Tree diversity mediates the distribution of longhorn beetles (Coleoptera: Cerambycidae) in a changing tropical landscape (Southern Yunnan, SW China) [J]. *PLoS ONE*, 2013, 8 (9): e75481.
- Nie RE, Bai M, Yang XK. Seventy years of Chinese beetle research [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (5): 884 – 906. [聂瑞娥, 白明, 杨星科. 中国甲虫研究七十年 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (5): 884 – 906]
- Nie RE, Yang MX, Xue HJ, et al. The application and effectiveness of a flight interception trap for insect collecting [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (3): 530 – 535. [聂瑞娥, 杨美霞, 薛怀君, 等. 飞行阻隔器在昆虫采集中的应用探究 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (3): 530 – 535]
- Oberprieler RG. 3.6. Brentidae Billberg, 1820. In: Leschen RAB, Beutel RG, eds. *Handbook of Zoology. Coleoptera, Beetles. Morphology and Systematics. Vol. 3* [C]. Berlin: Berlin and Boston L De Gruyter, 2014: 363 – 395.
- Owen JA. An emergence trap for insects breeding in dead wood [J]. *British Journal of Entomology and Natural History*, 1989, 2: 65 – 67.
- Pal TK, Sengupta T. On a collection of Sphindidae (Coleoptera: Clavicornia) from Western Himalaya, India [J]. *Entomon*, 2003, 28 (2): 97 – 104.
- Peck SB, Davies AE. Collecting small beetles with large-area “window” traps [J]. *The Coleopterists Bulletin*, 1980, 34: 237 – 239.
- Ren GD. Taxonomic studies of the family Trogidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) from China [J]. *Entomotaxonomia*, 2003, 25 (2): 109 – 117. [任国栋. 中国皮金龟科分类研究 (鞘翅目: 金龟总科) [J]. 昆虫分类学报, 2003, 25 (2): 109 – 117]
- Russo L, Stehouwer R, Heberling JM, et al. The composite insect trap: An innovative combination trap for biologically diverse sampling [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (6): e21079.
- Šag M, Turić N, Vignjević G, et al. The first record of the rare and threatened saproxylic coleoptera, *Cucujus cinnaberinus* (Scopoli, 1763); *Rhysodes sulcatus* (Fabricius, 1787) and *Omoglymmius germari* (Ganglbauer, 1891) in Kopač ki rit Nature Park [J]. *Natura Croatica*, 2016, 25 (2): 13 – 22.
- Sasaji H. A revision of the genus *Leptophloeus* (Coleoptera, Cucujidae) of Japon [J]. *Kontyū*, 1986, 54 (4): V681 – 687.
- Sato M. Notes on the genus *Callirhipis* (Coleoptera, Callirhipidae) from the Ryukyu Islands and Taiwan [J]. *Elytra*, 1995, 23 (1): 17 – 23.
- Šlipiński SA, Leschen RAB, Lawrence JF. Order Coleoptera Linnaeus, 1758. In: Zhang ZQ, ed. *Animal Biodiversity: An Outline of Higher – level Classification and Survey of Taxonomic Richness* [C]. Auckland: Zootaxa, 2011, 3148: 203 – 208.
- Song XB. Study on the Myrmecophilous and Termitophilous Aleocharines from China [D]. Shanghai: Shanghai Normal University Master Dissertation, 2015. [宋晓彬. 中国好蚁性与好白蚁性前角隐翅虫分类研究 [D]. 上海: 上海师范大学硕士学位论文, 2015]
- Thomas MC, Leschen RAB. Laemophloeidae Ganglbauer 1899. In: Leschen RAB, Beutel RG, Lawrence JF, eds. *Coleoptera, Beetles. Vol. 2: Morphology and Systematics (Elateroidea, Bostrichiformia, Cucujiformia partim): Handbook of Zoology* [C]. Berlin: Walter de Gruyter, 2010: 376 – 380.
- Vor Y. Records of rose chafers (Coleoptera: Cetoniinae) in Hong Kong [J]. *Hong Kong Entomological Society*, 2010, 2 (1): 32 – 42.
- Wang ZY, Lu YC, Li JK. The ecological distribution of soil beetle in Jiu Hua Mountains [J]. *Zoological Research*, 1994, 15 (2): 23 – 31. [王宗英, 路有成, 李景科. 九华山土壤甲虫的生态分布 [J]. 动物学研究, 1994, 15 (2): 23 – 31]
- Wilkening AJ, Foltz JL, Atkinson TH, et al. An omnidirectional flight trap for ascending and descending insects [J]. *Florida Agricultural Experiment Station Journal*, 1981, 113 (5): 453 – 455.
- Wu J, Pan H, Yang S, et al. Plantation management history and coarse woody debris characteristics influence the diversity of saproxylic beetles associated with Chinese cedar in Tianmushan, Zhejiang, East China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (2): 173 – 185. [吴捷, 潘卉, 杨淑贞, 等. 浙江天目山种植林管理历史及粗死木残体特征影响柳杉腐木甲虫多样性 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (2): 173 – 185]
- Yang ZW, Ding SX, Zhang AJ, et al. New method in collecting insects-flight interception trap [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 55 (4): 84 – 85. [杨宗武, 丁升选, 张爱娟, 等. 昆虫采集新方法 – 飞行拦截网 [J]. 陕西农业科学, 2009, 55 (4): 84 – 85]
- Yoshitomi H. A new species of the genus *Tenomerga* (Coleoptera, Cupedidae) from Myanmar [J]. *Elytra*, 2016, 6 (1): 179 – 184.