盘式诱捕器与飞行阻隔器捕获传粉昆虫群落的比较*

赖 乾[1**] 吴 松[1] 朱玉麟[1] 肖海军[2***]

（1. 江西农业大学昆虫研究所，南昌 330045；2. 北京林业大学草业与草原学院，北京 100083）

摘 要 【目的】分析飞行阻隔器和盘式诱捕器对传粉昆虫群落调查的诱捕效果，为农田生态系统传粉昆虫的科学监测、保护和利用提供科学依据。【方法】2021 年 2 月至 4 月（油菜花期），在江西农业大学科技生态园的 30 个油菜小区分别评估比较了盘式诱捕器和飞行阻隔器对传粉昆虫不同类群及整体的诱捕效果。【结果】在整个油菜花期，平均每个飞行阻隔器捕获传粉昆虫数量（297.43±20.06 头）（*n*=30）显著高于盘式诱捕器（85.63±5.15 头）（*n*=30）。飞行阻隔器共捕获的传粉昆虫种类（87 种）高于盘式诱捕器（82 种）。在群落结构上，飞行阻隔器和盘式诱捕器捕获的优势物种具有相似性；对于整体物种而言，飞行阻隔器捕获的传粉昆虫相比于盘式诱捕器表现出较高的相似性和均一性。进一步分析优势传粉昆虫，飞行阻隔器捕获鳞翅目、膜翅目、双翅目的种类数和丰富度均显著高于盘式诱捕器。【结论】飞行阻隔器整体捕获传粉昆虫的多样性和丰富度显著优于盘式诱捕器，建议用飞行阻隔器作为农田生态系统中传粉昆虫群落的监测方法。

关键词 传粉昆虫；访花昆虫；取样方法；油菜；农田生态系统

Comparison of the effectiveness of pan traps and window traps for investigating the insect-pollinator community in oilseed rape fields

LAI Qian[1**] WU Song[1] ZHU Yu-Lin[1] XIAO Hai-Jun[2***]

(1. Institute of Entomology, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;
2. School of Grassland Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract **[Objectives]** To compare the effectiveness of pan traps and window traps for investigating the pollinator community of oil-seed rape farmland ecosystems, and thereby provide information to inform the monitoring, utilization, and protection, of insect-pollinators. **[Methods]** From February to April 2021 (the rape flowering period), the relative effectiveness of pan and window traps with respect to characterizing the pollinator community was measured in 30 rape seed plots in the Science and Technology Ecological Park of Jiangxi Agricultural University. **[Results]** Significantly more insect-pollinators were captured by window traps (297.43 ± 20.06) than by pan traps (85.63 ± 5.15). The total number of species captured by window traps (87) was also higher than that caught by pan traps (82). With respect to community structure, the dominant species captured by window traps and pan traps were similar, however, the insects caught in window traps had higher species similarity and homogeneity than those caught in pan traps. With respect to the dominant insect-pollinators, a significantly higher number and richness of the Lepidoptera, Hymenoptera and Diptera were caught in window traps than in pan traps. **[Conclusion]** Window traps are significantly better than pan traps for revealing the diversity and richness of insect-pollinators in oil-seed rape fields and should therefore replace pan traps in agricultural ecosystems.

Key words insect-pollinators; flower visitation; sampling methods; oilseed rape; agriculture ecosystem

---

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金项目（32072488, 31700363）

**第一作者 First author，E-mail：ggjopj@qq.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：hjxiao@bjfu.edu.cn

收稿日期 Received：2023-03-06；接受日期 Accepted：2023-09-10

传粉昆虫是农田生态系统中的重要组成部分，它们通过提供授粉服务来维持植物群落多样性和提高农作物的产量及质量（Gallai *et al.*，2009；Winfree *et al.*，2011）。根据欧阳芳等（2019）统计，我国 107 种主要栽培作物中至少有 68 种作物在不同程度上依赖昆虫授粉，2015 年传粉昆虫对我国 22 类主要农作物授粉服务价值达到 8 860.5 亿元人民币，约占 2015 年全国 GDP 的 1.3%。有研究显示，在过去的几十年里，野生和人工授粉媒介提供的授粉服务呈稳步下降趋势，从而导致授粉服务功能的衰退（Kremen *et al.*，2002；Biesmeijer *et al.*，2006；Klein *et al.*，2006；Potts *et al.*，2010；Dicks *et al.*， 2021）。随着依赖传粉昆虫授粉作物的栽培面积不断扩大，传粉昆虫的重要性不断提升，同时由于栖息地丧失及碎片化、气候变化、农药污染以及入侵生物和病原体等因素的影响，传粉昆虫多样性明显下降，这更加凸显传粉昆虫监测方法等相关研究的重要性（Westphal *et al.*，2008；Nielsen *et al.*，2011）。对于传粉昆虫物种组成，不同的调查方法可能得到不同的群落性质，合适的调查方法可以让我们更好的了解农田生态系统传粉昆虫群落结构，以达到监测、利用和保护的目的（Zou *et al.*，2012）。

目前被用于评估传粉昆虫组成及多样性的采样方法很多（Kearns and Inouye，1994；Westphal *et al.*，2008），其中直接目测法和扫网法是最常使用的主动采样方法（Roulston *et al.*，2007；Nielsen *et al.*，2011；Prendergast *et al.*，2020），但由于其耗时长、难以标准化且需要较强的分类学基础，因此不适合大范围和长时间下对目标作物中传粉昆虫进行监测（Nielsen *et al.*，2011；Prendergast *et al.*，2020）。盘式诱捕器（Pan trap）是现今大景观尺度下监测当地传粉昆虫多样性最常用的被动采样方法之一（Roulston *et al.*，2007；Popic *et al.*，2013； Zou *et al.*，2017）。盘式诱捕器通常由彩色容器组成，可以吸引来访花的昆虫（Campbell and Hanula，2007）。然而盘式诱捕器的采样效率可能会受到周围花卉资源的影响（Baum and Wallen，2011），并偏向于具有相似分类学形态特征的传粉昆虫（Roulston *et al.*，2007）。由于盘式诱捕器是一种基于引诱原理的采样方法，因此使用其针对于不同作物、不同环境下传粉昆虫多样性监测仍需进一步研究（Cane *et al.*，2000）。

飞行阻隔器（Window trap）是一种可用于监测飞行昆虫群落的非引诱型采样方法。它由大块透明玻璃或细网组成，作为昆虫潜在飞行路径上的物理屏障，通过利用昆虫撞击屏障掉落来达到采集的目的（Howlett *et al.*，2009；Zou *et al.*，2012）。此前飞行阻隔器主要用于森林中鞘翅目昆虫的采集 (HyvÄRinen *et al.*，2009)，但最近有大量研究将其作为膜翅目昆虫的采集方法之一（Howlett *et al.*，2009；Ulyshen *et al.*，2010；Prendergast *et al.*，2020）。由于不涉及引诱剂，在探索整个传粉昆虫类群时，飞行阻隔器的偏差可能比盘式诱捕器小，有研究建议在监测森林栖息地的当地蜜蜂和胡蜂时使用（Rubene *et al.*，2015）。然而，农田生态系统传粉昆虫多样性监测的方法研究较为匮乏。因此，本研究通过比较两种调查方法对传粉昆虫群落多样性的影响，并调查油菜开花时期传粉昆虫组成及多样性情况，以期筛选出简便、有效的传粉昆虫多样性调查方法，并为农田生态系统中传粉昆虫多样性保护及其授粉服务功能维持提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验样地

本试验于 2021 年 2 月下旬至 4 月上旬（油菜花期）在江西省南昌市江西农业大学科技生态园内（N 28°45′46″，E 115°49′55″）1 110 m^2 的“7”字型田块中进行。样地被平均划分为 6 组，每组 5 个重复，共 30 个 25 m^2 的种植小区（图 1），油菜品种为江西农业大学付东辉研究员团队研发的油菜（蒋娜娜等，2020）。于 2020 年 10 月 7 日播种，在油菜生长期间均未使用杀虫剂等农药产品。

1.2 盘式诱捕器和飞行阻隔器

盘式诱捕器（Pan trap）由 3 个杯子（直径

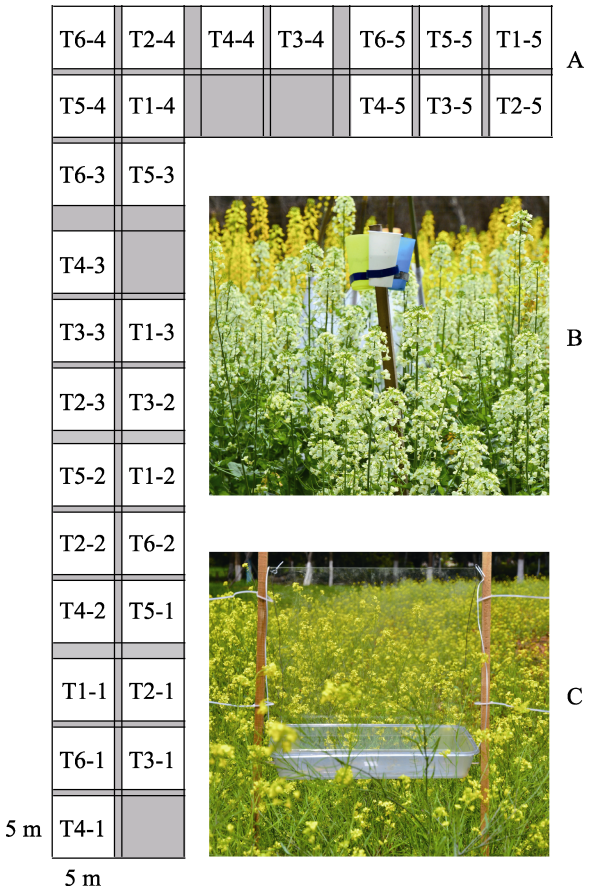

图 1　试验田小区分布示意和陷阱构造图

Fig 1　Illustration of plots distribution in the test field and trap structure photo

A. 小区分布；B. 盘式诱捕器；C. 飞行阻隔器。
A. Distribution of plots; B. Structure of Pan trap; C. Structure of Window trap.

8.3 cm，高 13.5 cm，体积 450 mL）组成（图 1：B）。杯子的内部涂有与杯子外部颜色相同的荧光色（荧光蓝色、荧光黄色和荧光白色），以最大限度的减少单一颜色带来的偏差（Westphal *et al.*，2008）。盘式诱捕器固定在一根木棍上，高度为 1.6 m，约为田间油菜花的高度。在距离杯口 2 cm 处的杯壁上钻两个直径 3 mm 的圆孔用于排出雨水。杯子内部加入饱和食盐水并添加少量洗涤剂用于杀死昆虫。飞行阻隔器（Window trap）的主体部分是一块透明亚克力板（长 50 cm，宽 35 cm，厚度 3 mm），作为拦截昆虫的屏障。亚克力板底部固定有一个透明塑料托盘，用于收集掉落的昆虫，托盘内部装有与盘式诱捕器中配比相同的液体。飞行阻隔器与盘式诱捕器固定在相同高度（图 1：C）。

田块中的 30 个小区（图 1：A），每个小区各设置一个盘式诱捕器与飞行阻隔器。所有的采集器都被设置在至少离小区边缘 1 m 的位置。于 2021 年 2 月下旬至 2021 年 4 月上旬（油菜花期）每 7 d 收取田间陷阱捕获的昆虫。

1.3　标本处理和鉴定

采集的传粉昆虫样本及时保存至 - 20 ℃的冰箱中保存，并于室内实验室应用体式显微镜（HA-1745，深圳市海约电子有限公司）进行分类整理、拍摄不同部位的高清图片以及制作浸制标本。无法鉴定的物种，将对应的照片与标本发送给相关领域的专家进行鉴定，部分优势物种通过分子手段进行鉴定。90%的物种鉴定至种，全部物种鉴定至科级分类单元。

1.4　数据统计与分析

群落多样性研究采用个体数（N）、物种数（S）、Maraglef 丰富度指数（D）、Shannon-Winner 群落多样性指数（H）、群落均匀性指数（E）、Simpson 优势集中性指数（C）来进行群落的组成与结构特征的分析（Hurlbert *et al.*，1971；马克平，1994）。计算公式中 S 为每个小区的物种总数，N 为总个体数量，P_i 为第 i 个物种在全体物种中所占比例。具体计算公式如下：

（1）Maraglef 指数：$D = (S - 1)/\ln N$；

（2）Shannon-Winner 指数：$H = -\sum(P_i \times \ln P_i)$；

（3）均匀性指数：$E = H / \ln S$；

（4）Simpson 优势集中性指数：$C = \sum P_i^2$。

使用 Excel 2020 和 SPSS 26.0 统计软件进行数据的处理及分析，两种陷阱之间的差异采用配对 t 检验（数据符合正态分布）或配对秩和检验（数据不符合正态分布）进行差异性分析。图形绘制采用 GraphPad Prism 8.0 软件进行。

为了比较盘式诱捕器和飞行阻隔器之间物种组成的差异，我们使用了弦标准化预期共享物种数（Chord-normalized expected species shared，CNESS）衡量 β 多样性。CNESS 指数对样本量不敏感，它衡量的是从两个群落中随机抽取给定

数量的个体（*m* 值）时获得同一物种的概率。我们使用 Zou 等（2020）开发的 CNESS 修改版，其值在 0 和 1 之间。我们使用小样本量（*m* = 1）关注优势物种的差异和较大样本量（*m* = 20）侧重于整体群落构成。使用非度量多维尺度分析法（Non-metric multidimensional scaling，NMDS）进行可视化 CNESS 差异矩阵分析。

2 结果与分析

2.1 传粉昆虫物种组成

在整个油菜花期，共捕获传粉昆虫 4 目 34 科 104 种 11 492 头。包括鳞翅目 9 科 21 种，膜翅目 10 科 45 种，双翅目 11 科 35 种，鞘翅目 4 科 3 种。其中盘式诱捕器共捕获传粉昆虫 82 种 2 569 头，飞行阻隔器共捕获传粉昆虫 87 种 8 923 头。有 8 种鳞翅目昆虫、4 种膜翅目昆虫和 5 种双翅目昆虫仅出现在盘式诱捕器种；有 7 种鳞翅目昆虫、12 种膜翅目昆虫和 3 种双翅目昆虫仅出现在飞行阻隔器中（表 1）。

两种陷阱捕获的传粉昆虫优势物种表现一致，为灰地种蝇 *Delia platura*、西方蜜蜂 *Apis mellifera* 和方头淡脉隧蜂 *Lasioglossum politum*。盘式诱捕器捕获灰地种蝇 898 头，占总个体数的 34.96%；捕获西方蜜蜂 347 头，占总个体数的 13.51%；捕获方头淡脉隧蜂 179 头，占总个体数

表 1 油菜田传粉昆虫群落结构及丰富度

Table 1 Community structure and richness of insect-pollinators in rape field

物种 Species	盘式诱捕器 Pan trap		飞行阻隔器 Window trap		物种 Species	盘式诱捕器 Pan trap		飞行阻隔器 Window trap	
	个体（头）Individuals	比例（%）Percentage	个体（头）Individuals	比例（%）Percentage		个体（头）Individuals	比例（%）Percentage	个体（头）Individuals	比例（%）Percentage
人纹污灯蛾 *Spilarctia subcarnea*	1	0.04	—	—	地蜂属未知种 1 *Andrena* sp.1	—	—	22	0.25
尺蛾科未知种 1 Geometridae sp.1	—	—	3	0.03	地蜂属未知种 2 *Andrena* sp.2	—	—	2	0.02
尺蛾科未知种 2 Geometridae sp.2	5	0.19	10	0.11	西方蜜蜂 *Apis mellifera*	347	13.51	1545	17.31
东亚燕灰蝶 *Rapala micans*	6	0.23	—	—	东方蜜蜂 *Apis cerana*	41	1.60	240	2.69
雅灰蝶 *Jamides bochus*	1	0.04	—	—	日本芦蜂 *Ceratina japonica*	84	3.27	383	4.29
夜蛾科未知种 1 Noctuidae sp.1	3	0.12	7	0.08	雅克长须蜂 *Eucera jacoti*	33	1.28	79	0.89
夜蛾科未知种 2 Noctuidae sp.2	—	—	1	0.01	彩艳斑蜂 *Nomada xanthidica*	1	0.04	21	0.24
夜蛾科未知种 3 Noctuidae sp.3	1	0.04	3	0.03	艳斑蜂属未知种 *Nomada* sp.	1	0.04	14	0.16
夜蛾科未知种 4 Noctuidae sp.4	1	0.04	5	0.06	条蜂属未知种 *Anthophora* sp.	2	0.08	6	0.07
夜蛾科未知种 5 Noctuidae sp.5	—	—	2	0.02	中国长须蜂 *Eucera chinensis*	4	0.16	15	0.17
夜蛾科未知种 6 Noctuidae sp.6	—	—	1	0.01	台湾回条蜂 *Habropoda tainanicola*	—	—	3	0.03
夜蛾科未知种 7 Noctuidae sp.7	—	—	1	0.01	绿芦蜂 *Pithitis smaragdula*	1	0.04	—	—

续表 1 (Table 1 continued)

物种 Species	盘式诱捕器 Pan trap 个体（头） Individuals	盘式诱捕器 Pan trap 比例（%） Percentage	飞行阻隔器 Window trap 个体（头） Individuals	飞行阻隔器 Window trap 比例（%） Percentage
黄钩蛱蝶 *Polygonia c-aureum*	—	—	1	0.01
大红蛱蝶 *Vanessa indica*	1	0.04	—	—
碧凤蝶 *Papilio bianor*	1	0.04	—	—
青凤蝶 *Graphium Sarpedon*	—	—	1	0.01
东方菜粉蝶 *Pieris canidia*	17	0.66	8	0.09
菜粉蝶 *Pieris rapae*	6	0.23	—	—
黄尖襟粉蝶 *Anthocharis scolymus*	2	0.08	—	—
小菜蛾 *Plutella xylostella*	47	1.83	380	4.26
斑蛾科 未知种 Zygaenidae sp.	1	0.04	—	—
Andrena luridiloma	10	0.39	129	1.45
灰地种蝇 *Delia platura*	898	34.96	2346	26.29
花蝇科 未知种 Anthomyiidae sp.	6	0.23	8	0.09
大头金蝇 *Chrysomya megacephala*	14	0.54	17	0.19
反吐丽蝇 *Calliphora vomitoria*	112	4.36	153	1.71
丽蝇科未知种 1 Calliphoridae sp.1	2	0.08	9	0.10
丽蝇科未知种 2 Calliphoridae sp.2	40	1.56	91	1.02
丽蝇科未知种 3 Calliphoridae sp.3	6	0.23	1	0.01
丽蝇科未知种 4 Calliphoridae sp,4	74	2.88	19	0.21
丽蝇科未知种 Calliphoridae sp.5	31	1.21	5	0.06
丽蝇科未知种 6 Calliphoridae sp.6	6	0.23	5	0.06
长足虻科未知种 Dolichopodidae sp.	22	0.86	54	0.61
瓜芦蜂 *Ceratina cucurbitina*	—	—	14	0.16
竹木蜂 *Xylocopa nasalis*	3	0.12	2	0.02
黄胸木蜂 *Xylocopa appendiculata*	1	0.04	2	0.02
赤足木蜂 *Xylocopa rufipes*	—	—	2	0.02
葛氏黄腹三节叶蜂 *Arge geei*	—	—	3	0.03
方头泥蜂科未知种 1 Crabronidae sp.1	—	—	1	0.01
方头泥蜂科未知种 2 Crabronidae sp.2	—	—	3	0.03
方头淡脉隧蜂 *Lasioglossum politum*	179	6.97	1891	21.19
淡脉隧蜂属未知种 1 *Lasioglossum* sp.1	43	1.67	169	1.89
淡脉隧蜂属未知种 2 *Lasioglossum* sp.2	85	3.31	518	5.81
淡脉隧蜂属未知种 3 *Lasioglossum* sp.3	2	0.08	2	0.02
铜色隧蜂 *Halictus aerarius*	8	0.31	45	0.50
尖肩淡脉隧蜂 *Lasioglossum subopacum*	47	1.83	71	0.80
壁蜂属未知种 1 *Osmia* sp.1	—	—	7	0.08
壁蜂属未知种 2 *Osmia* sp.2	—	—	5	0.06
白毛长腹土蜂 *Campsomeriella annulata*	13	0.51	7	0.08
樟叶蜂 *Mesoneura rufonota*	2	0.08	36	0.40
黑胫残青叶蜂 *Athalia proxima*	31	1.21	9	0.10
侧斑槌腹叶蜂 *Tenthredo mortivaga*	4	0.16	6	0.07
长腹钩瓣叶蜂 *Macrophya dolichogaster*	3	0.12	3	0.03
弱突新麦叶蜂 *Neodolerus shanghaicus*	1	0.04	6	0.07

续表 1 (Table 1 continued)

物种 Species	盘式诱捕器 Pan trap 个体（头） Individuals	盘式诱捕器 Pan trap 比例（%） Percentage	飞行阻隔器 Window trap 个体（头） Individuals	飞行阻隔器 Window trap 比例（%） Percentage	物种 Species	盘式诱捕器 Pan trap 个体（头） Individuals	盘式诱捕器 Pan trap 比例（%） Percentage	飞行阻隔器 Window trap 个体（头） Individuals	飞行阻隔器 Window trap 比例（%） Percentage
铜腹重毫蝇 *Dichaetomyia bibax*	64	2.49	286	3.21	细拉方颜叶蜂 *Pachyprotasis sellata*	5	0.19	7	0.08
广口蝇科未知种 Platystomatidae sp.	1	0.04	1	0.01	臀沟土蜂科未知种 Tiphiidae sp.	3	0.12	12	0.13
不显口鼻蝇 *Stomorhina obsoleta*	110	4.28	12	0.13	孔蜾蠃 *Eumenes punctatus*	1	0.04	—	—
麻蝇科未知种 Sarcophagidae sp.	1	0.04	6	0.07	黄缘蜾蠃 *Anterhynchium flavomarginatum*	1	0.04	—	—
粪蝇科未知种 Scathophagidae sp.	—	—	6	0.07	陆马蜂 *Polistes rothneyi*	1	0.04	2	0.02
脉水虻属未知种 *Oplodontha* sp.	3	0.12	—	—	斯马蜂 *Polistes snelleni*	5	0.19	24	0.27
大灰优蚜蝇 *Eupeodes corollae*	9	0.35	28	0.31	日本长脚蜂 *Polistes japonicus*	1	0.04	1	0.01
方斑墨蚜蝇 *Melanostoma mellinum*	10	0.39	39	0.44	墨胸胡蜂 *Vespa velutina*	2	0.08	—	—
黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteata*	9	0.35	33	0.37	细黄胡蜂 *Vespula flaviceps*	1	0.04	1	0.01
长尾管蚜蝇 *Eristalis tenax*	9	0.35	5	0.06	印度异腹胡蜂 *Parapolybia indica*	—	—	10	0.11
印度细腹食蚜蝇 *Sphaerophoria indiana*	1	0.04	3	0.03	带铃腹胡蜂 *Ropalidia fasciata*	—	—	1	0.01
羽芒宽盾食蚜蝇 *Phytomia zonata*	2	0.08	3	0.03	树莓小花甲 *Byturus tomentosus*	39	1.52	7	0.08
双色毛管蚜蝇 *Mallota bicolor*	1	0.04	—	—	油菜露尾甲 *Brassicogethes aeneus*	4	0.16	3	0.03
狭带条胸食蚜蝇 *Helophilus eristaloideus*	1	0.04	2	0.02	斑青花金龟 *Gametis bealiae*	5	0.19	1	0.01
黑蚜蝇属未知种 *Cheilosia* sp.	14	0.54	2	0.02	食蚜蝇科未知种 3 Syrphidae sp.3	1	0.04	—	—
粗股蚜蝇属未知种 *Syritta* sp.	—	—	2	0.02	寄蝇科未知种 1 Tachinidae sp.1	2	0.08	—	—
柄角蚜蝇属未知种 *Monoceromyia* sp.	—	—	1	0.01	寄蝇科未知种 2 Tachinidae sp.2	5	0.19	12	0.13
食蚜蝇科未知种 1 Syrphidae sp.1	4	0.16	17	0.19	寄蝇科未知种 3 Tachinidae sp.3	1	0.04	—	—
食蚜蝇科未知种 2 Syrphidae sp.2	2	0.08	1	0.01	实蝇科未知种 Tephritidae sp.	1	0.04	3	0.03

的 6.97%。飞行阻隔器捕获灰地种蝇 2 346 头，占总个体数的 26.29%；捕获西方蜜蜂 1 545 头，占总个体数的 17.31%；捕获方头淡脉隧蜂 1 891 头，占总个体数的 21.19%（表 1）。

2.2　盘式诱捕器和飞行阻隔器群落多样性比较

根据 α 多样性分析结果显示，在传粉昆虫物种数上，平均每个飞行阻隔器[（26.20±1.01）种]显著高于盘式诱捕器[（19.60±0.94）种]（$t = -4.720$；$df = 29$，$P = 0 < 0.001$）；在捕获的传粉昆虫个体数上平均每个飞行阻隔器捕获[（297.43±20.06）头]显著高于盘式诱捕器[（85.63±5.45）头]（$t = -10.623$；$df = 29$，$P = 0 < 0.001$）；在群落均匀性指数上盘式诱捕器（0.75±0.02）显著高于飞行阻隔器（0.68±0.01）（$t = 3.104$；$df = 29$，$P = 0.004 < 0.01$）；在群落多样性指数、优势集中性指数以及丰富度指数上，两者无显著差异。平均每个飞行阻隔器捕获的传粉个体数约为盘式诱捕器的 3.5 倍，捕获的传粉昆虫物种数约为盘式诱捕器的 1.3 倍。这说明飞行阻隔器相比盘式诱捕器捕获了更多的传粉昆虫，并且捕获了更多的稀有物种（图 2）。

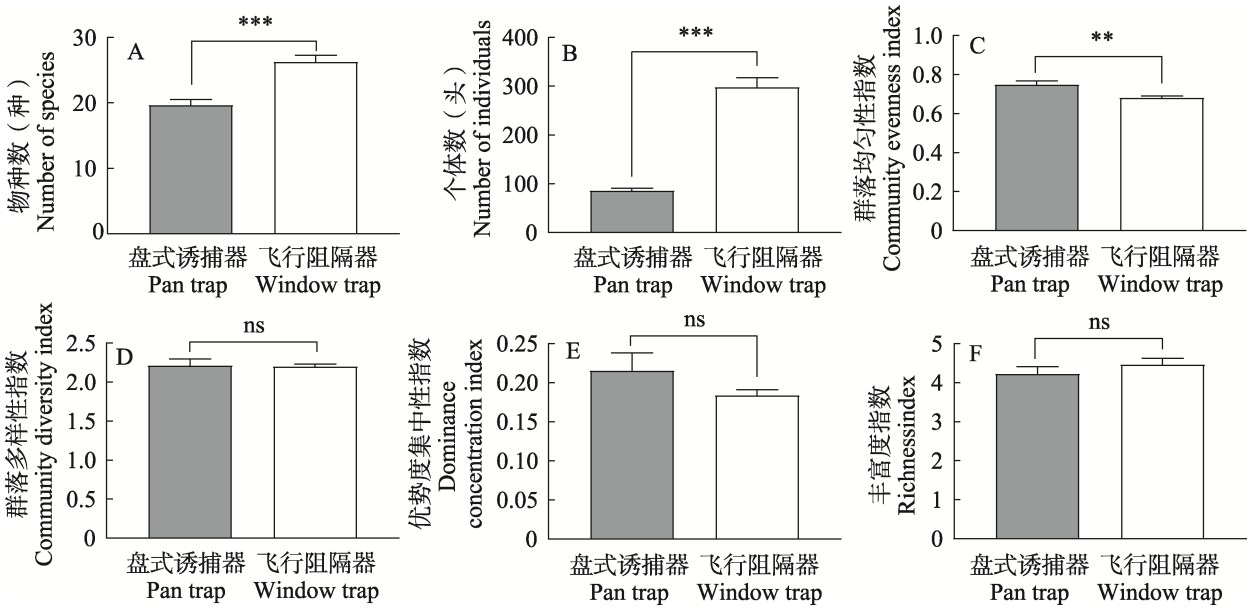

图 2　盘式诱捕器与飞行阻隔器的 α 多样性性比较

Fig. 2　A comparison of α diversity between pan trap and window trap

A. 物种数；B. 个体数；C. 群落均匀性指数；D. 群落多样性指数；
E. 优势度集中性指数；F. 丰富度指数。
柱上标有星号表示有显著性差异（***代表 $P < 0.001$；**代表 $P < 0.01$）；ns 代表无显著性差异（$P > 0.05$），
通过配对 t 检验和配对秩和检验进行显著性分析。图 4 同。
A. Number of species; B. Number of individuals; C. Community evenness index;
D. Community diversity index; E. Dominance concentration index; F. Richness index.
Histograms with asterisk indicate significant differences (*** means $P < 0.001$; ** means $P < 0.01$);
ns means no significant difference ($P > 0.05$) by paired t-test and paired rank sum test. The same for Fig. 4.

2.3　盘式诱捕器和飞行阻隔器群落结构比较

对两种陷阱捕获的传粉昆虫群落结构进行非度量多维尺度分析（NMDS），结果显示盘式诱捕器和飞行阻隔器捕获的传粉昆虫群落组成不同。在查看群落结构差异时，两种方法中飞行阻隔器捕获的优势物种（m=1）的群落离散点相较于盘式诱捕器聚集更明显，表现出相对较高的相似性和均质性。同样的对于整体群落组成（m=20）而言，盘式诱捕器中的群落离散距离大于飞行诱捕器，表现出较高的异质性，群落结构差异相对更大（图 3）。

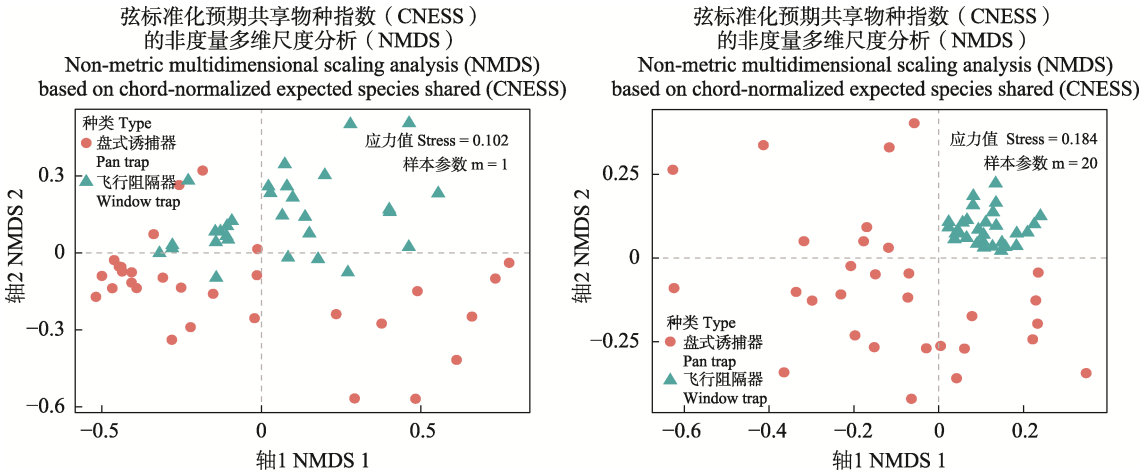

图 3　盘式诱捕器与飞行阻隔器捕获昆虫的 β 多样性性比较

Fig. 3　A comparison of pollinator β diversity between pan trap and window trap

左：优势传粉昆虫；右：全部传粉昆虫。

Left: The community structure of dominant pollinators; Right: The community structure of all trapped pollinators.

分别比较两种陷阱对四大类群传粉昆虫的诱捕效果，结果表明针对于鳞翅目昆虫，平均每个飞行阻隔器捕获的物种数与盘式诱捕器无显著差异（$t = -1.756$；$df = 29$，$P = 0.09 > 0.05$），但平均每个飞行阻隔器捕获的个体数显著高于盘式诱捕器（$t = -11.208$；$df = 29$，$P = 0 < 0.001$）；针对于鞘翅目昆虫，平均每个盘式诱捕器捕获的物种数显著高于飞行阻隔器（$Z = -3.119$；$df = 29$，$P = 0.002 < 0.01$），并且平均每个盘式诱捕器捕获的个体数显著高于飞行阻隔器（$Z = -3.589$；$df = 29$，$P = 0 < 0.001$）；针对于膜翅目昆虫，平均每个飞行阻隔器捕获的物种数显著高于盘式诱捕器（$Z = -4.648$；$df = 29$，$P = 0 < 0.001$），并且平均每个飞行阻隔器捕获的个体数显著高于盘式诱捕器（$t = -9.386$；$df = 29$，$P = 0 < 0.001$）；针对于双翅目昆虫，平均每个飞行阻隔器捕获的物种与盘式诱捕器没有显著性差异（$t = -0.761$；$df = 29$，$P = 0.453 > 0.05$），但是平均每个飞行阻隔器捕获的个体数显著高于盘式诱捕器（$t = -6.267$；$df = 29$，$P = 0 < 0.001$）（图 4）。

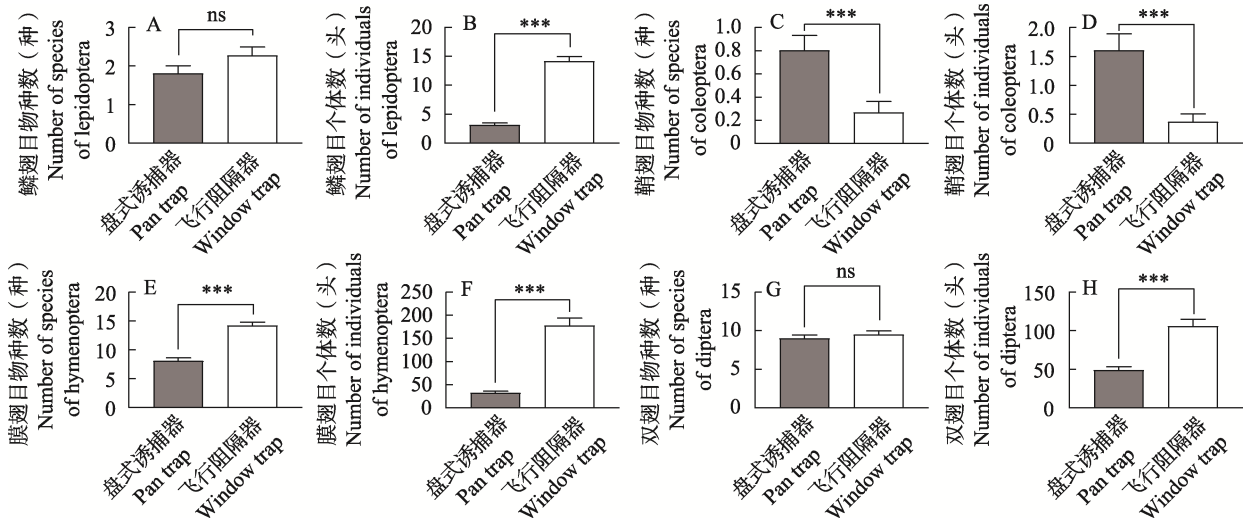

图 4　盘式诱捕器和飞行阻隔器捕获不同类群物种数和个体数比较

Fig. 4　Comparison of species and individual numbers of different groups captured by pan trap and window trap

A, B. 鳞翅目；C, D. 鞘翅目；E, F. 膜翅目；G, H. 双翅目。

A, B. Lepidoptera; C, D. Coleoptera; E, F. Hymenoptera; G, H. Diptera.

3　讨论

监测和评价是实现昆虫多样性保护的前提条件，选择一种或多种适宜、准确且高效的取样方法来衡量昆虫多样性是一项基础性工作（段美春等，2021）。本研究通过比较两种传粉昆虫多样性调查方法，发现飞行阻隔器和盘式诱捕器在油菜田中对传粉昆虫都有较好的采集效果，其中飞行阻隔器捕获的传粉昆虫物种数、个体数和稀有物种都要高于盘式诱捕器。本研究结果与 Rubene 等（2015）和 Shi 等（2022）等得出的结论一致，飞行阻隔器有成为传粉昆虫调查方法的良好潜力。一方面这可能与陷阱的有效捕获面积有关，本研究中使用了一块 0.175 m^2 的透明亚克力板作为飞行阻隔器的主体部分，大于盘式诱捕器的捕获面积，更大的透明挡板意味着更广阔的昆虫飞行路径将被阻断，可能存在更高的捕获效率。另一方面有些具有采水习性传粉昆虫例如蜜蜂（李成成等，2010）在外出期间携水，飞行阻隔器的结构成为了其适合场所，因此导致更多的蜜蜂被捕获。此外本研究发现飞行阻隔器捕获的鳞翅目个体数、双翅目个体数以及膜翅目物种数和个体数都要显著高于盘式诱捕器。虽然盘式诱捕器捕获的鞘翅目物种数和个体数都显著高于飞行阻隔器，但这是田间鞘翅目昆虫种群数量偏低而导致的。并且飞行阻隔器与盘式诱捕器捕获的传粉昆虫群落多样性、群落均匀性指数以及丰富度指数上并无显著差异，这表明飞行阻隔器捕获的传粉昆虫物种组成有着更高的相似性，因此飞行阻隔器有着替代盘式诱捕器作为农田生态系统中传粉昆虫的取样方法的良好潜力。

飞行阻隔器在森林和草原生态系统中有着广泛的应用，但是很少用于农田生态系统的传粉昆虫调查（Rubene *et al.*，2015）。在本研究中发现虽然飞行阻隔器捕获的样本量显示整体物种组成略有不同，但均一性好于盘式诱捕器物种组成。这意味着飞行阻隔器能捕获的传粉昆虫更全面，导致这种差异的原因可能是盘式诱捕器的引诱偏差。有研究表明花卉资源会对盘式诱捕器的吸引力造成影响（Popic *et al.*，2013；Prendergast *et al.*，2020），而非诱捕型的飞行阻隔器则基本不受影响。

总的来说，在研究农田访花昆虫的多样性时，飞行阻隔器可以替代盘式诱捕器，并且在昆虫采样方面具有更高的采集效率和丰富的物种种类。但本研究仅在一种景观和一种作物类型中进行，缺乏在其他作物田中对飞行阻隔器做系统的评估。因此，未来研究将进一步评估各种作物类型及不同景观环境下使用飞行诱捕器对传粉昆虫多样性的影响，以期能更好的监测、利用和保护传粉昆虫，从而实现农业的绿色可持续发展。

致谢：感谢江西师范大学魏美才教授，北京林业大学张东教授，中国农业大学徐环李副教授，江西农业大学李卫春教授对传粉昆虫标本的指导鉴定。

参考文献 (References)

Baum KA, Wallen KE, 2011. Potential bias in pan trapping as a function of floral abundance. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 84(2): 155–159.

Biesmeijer JC, Roberts SP, Reemer M, Ohlemuller R, Edwards M, Peeters T, Schaffers AP, Potts SG, Kleukers R, Thomas CD, Settele J, Kunin WE, 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313(5785): 351–354.

Campbell JW, Hanula JL, 2007. Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems. *Journal of Insect Conservation*, 11(4): 399–408.

Cane JH, Minckley RL, Kervin LJ, 2000. Sampling bees (Hymenoptera: Apiformes) for pollinator community studies: Pitfalls of pan-trapping. *Journal of the Kansas entomological society*, 73(4): 225–231.

Dicks LV, Breeze TD, Ngo HT, Senapathi D, An J, Aizen MA, Basu P, Buchori D, Galetto L, Garibaldi LA, Gemmill-Herren B, Howlett BG, Imperatriz-Fonseca VL, Johnson SD, Kovacs-Hostyanszki A, Kwon YJ, Lattorff HMG, Lungharwo T, Seymour CL, Vanbergen AJ, Potts SG, 2021. A global- scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nature Ecology & Evolution*, 5(10): 1453–1461.

Duan MC, Qin RX, Zhang HB, Chen BX, Jin B, Zhang SB, Ren SP, Jin SQ, Zhu SH, Hua JN, Liu YH, Yu ZR, 2021. Comprehensive comparison of different sampling methods for arthropod

diversity in farmland. *Biodiversity Science*, 29(4): 477–487. [段美春, 覃如霞, 张宏斌, 陈宝雄, 金彬, 张松泊, 任少鹏, 金树权, 朱升海, 华家宁, 刘云慧, 宇振荣, 2021. 农田节肢动物不同取样方法的综合比较. 生物多样性, 29(4): 477–487]

Gallai N, Salles JM, Settele J, Vaissière BE, 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3): 810–821.

Howlett BG, Walker MK, Newstrom-Lloyd LE, Donovan BJ, Teulon DAJ, 2009. Window traps and direct observations record similar arthropod flower visitor assemblages in two mass flowering crops. *Journal of Applied Entomology*, 133(7): 553–564.

Hurlbert SH, 1971. The nonconcept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology*, 52(4): 577–586.

HyvÄRinen E, Kouki J, Martikainen P, 2009. Prescribed fires and retention trees help to conserve beetle diversity in managed boreal forests despite their transient negative effects on some beetle groups. *Insect Conservation and Diversity*, 2(2): 93–105.

Jiang NN, Liu JJ, Xiao ML, Yao XY, Fu DH, 2020. A new breakthrough in multi-functional rape research. *Changjiang Vegetables*, 8: 32–35. [蒋娜娜, 刘佳佳, 肖美丽, 姚雪颖, 付东辉, 2020. 多功能油菜研究新突破. 长江蔬菜, 8: 32–35.]

Kearns CA, Inouye DW, 1994. Techniques for Pollination Biologists. Colorado: University Press of Colorado. Vol. 127. New Phytologist. 790–790.

Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T, 2006. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608): 303–313.

Kremen C, Williams NM, Thorp RW, 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26): 16812–16816.

Li CC, Xu BH, Feng QQ, Yang WR, 2010. The nutrition and research methods of honeybee. *Apiculture of China*, 61(2): 14–15. [李成成, 胥保华, 冯倩倩, 杨维仁, 2010. 蜜蜂的营养需要及研究方法. 中国蜂业, 61(2): 14–15.]

Ma KP, 1994. Measuring methods of biome diversity I: Measuring methods of α diversity (Part 1). *Biodiversity Science*, 2(3): 162–168. [马克平, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I：α 多样性的测度方法(上). 生物多样性, 2(3): 162–168.]

Nielsen A, Steffan-Dewenter I, Westphal C, Messinger O, Potts SG, Roberts SPM, Settele J, Szentgyörgyi H, Vaissière BE, Vaitis M, Woyciechowski M, Bazos I, Biesmeijer JC, Bommarco R, Kunin WE, Tscheulin T, Lamborn E, Petanidou T, 2011. Assessing bee species richness in two Mediterranean communities: Importance of habitat type and sampling techniques. *Ecological Research*, 26(5): 969–983.

Ouyang F, Wang LN, Yan Z, Men XY, Ge F, 2019. Evaluation of insect pollination and service value in China' s agricultural ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 39(1): 131–145. [欧阳芳, 王丽娜, 闫卓, 门兴元, 戈峰, 2019. 中国农业生态系统昆虫授粉功能量与服务价值评估. 生态学报, 39(1): 131–145.]

Popic TJ, Davila YC, Wardle GM, 2013. Evaluation of common methods for sampling invertebrate pollinator assemblages: Net sampling out-perform pan traps. *PLoS ONE*, 8(6): e66665.

Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE, 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6): 345–353.

Prendergast KS, Menz MHM, Dixon KW, Bateman PW, 2020. The relative performance of sampling methods for native bees: An empirical test and review of the literature. *Ecosphere*, 11(5): e03076.

Roulston TH, Smith SA, Brewster AL, 2007. A Comparison of pan trap and intensive net Sampling techniques for documenting a bee (Hymenoptera: Apiformes) fauna. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(2): 179–181.

Rubene D, Schroeder M, Ranius T, Didham R, 2015. Estimating bee and wasp (Hymenoptera: Aculeata) diversity on clear-cuts in forest landscapes-an evaluation of sampling methods. *Insect Conservation and Diversity*, 8(3): 261–271.

Shi XY, Fu DM, Xiao HJ, Hodgson JA, Yan DY, Zou Y, 2022. Comparison between window traps and pan traps in monitoring flower-visiting insects in agricultural fields. *Bulletin of Entomological Research*, 112(5): 691–696.

Ulyshen MD, Soon V, Hanula JL, 2010. On the vertical distribution of bees in a temperate deciduous forest. *Insect Conservation and Diversity*, 3(3): 222–228

Westphal C, Bommarco R, Carré G, Lamborn E, Morison N, Petanidou T, Potts SG, Roberts SPM, Szentgyörgyi H, Tscheulin T, Vaissière BE, Woyciechowski M, Biesmeijer JC, Kunin WE, Settele J, Steffan-Dewenter I, 2008. Measuring bee diversity in different european habitats and biogeographical regions. *Ecological Monographs*, 78(4): 653–671.

Winfree R, Gross BJ, Kremen C, 2011. Valuing pollination services to agriculture. *Ecological Economics*, 71(1):80–88.

Zou Y, Feng JC, Xue DY, Sang WG, Axmacher JC, 2012. A comparison of terrestrial Arthropod sampling methods. *Journal of Resources and Ecology*, 3(2): 174–182.

Zou Y, Axmacher JC, 2020. The chord‐normalized expected Species shared (CNESS)-distance represents a superior measure of species turnover patterns. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(2): 273–280.

Zou Y, Bianchi FJJA, Jauker F, Xiao HJ, Chen JH, Cresswell J, Luo SD, Huang JK, Deng XZ, Hou LL, Werf W, 2017. Landscape effects on pollinator communities and pollination services in small-holder agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246(1): 109–116.