

DOI: 10.20103/j.stxb.202311152478

谢美琦, 朱宏远, 杨长举, 韩可洪, 余玖坤, 关现军, 沈栎阳, 徐成梨, 陆泽玮, 刘畅, 何贝贝, 蒲雷, 华红霞, 蔡万伦. 稻田节肢动物群落两种调查取样方法比较研究. 生态学报, 2025, 45(2): 644-652.

Xie M Q, Zhu H Y, Yang C J, Han K H, Yu J K, Guan X J, Shen L Y, Xu C L, Lu Z W, Liu C, He B B, Pu L, Hua H X, Cai W L. Comparison of two sampling methods for arthropod communities based on perennial data from rice field. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(2): 644-652.

稻田节肢动物群落两种调查取样方法比较研究

谢美琦, 朱宏远, 杨长举, 韩可洪, 余玖坤, 关现军, 沈栎阳, 徐成梨, 陆泽玮, 刘畅, 何贝贝, 蒲雷, 华红霞, 蔡万伦*

华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

摘要: 吸虫法是稻田节肢动物群落调查的主流方法, 但随着大规模调查取样需求的日益增加, 便捷性逐渐成为选择调查取样方法时的重要考量因素, 因此不少研究者开始倾向于使用扫网法。然而, 关于扫网法与吸虫法在调查效果上的直接比较尚未见报道。研究基于江汉平原稻区多年的调查取样资料(2018、2019、2020年), 对这2种调查取样方法在采集偏好、采集效率以及对节肢动物群落组成和关键类群变化的敏感性方面进行了比较, 旨在为农业生物多样性以及昆虫生态学相关研究提供调查取样方法的参考依据。研究结果显示, 这两种调查取样方法在体型大小、迁移能力和垂直分布3种功能性状上的采集效果并无显著性差异, 所采集的常见节肢动物群落高度相似。由于扫网法取样面积更大, 它能更全面地反映物种丰富度($P < 0.05$)。此外, 尽管两种方法在反映节肢动物群落特征指数和关键类群(如寄生蜂、蜘蛛和稻飞虱)丰度的变化趋势上保持一致, 但在进一步将蜘蛛细分为游猎型与结网型时, 两者所呈现的丰度时间变化趋势出现了差异($P < 0.05$)。具体来说, 在整个调查期内, 利用吸虫法获得的2种类型蜘蛛的丰度呈现递减趋势, 而扫网法则表现出先降后升的动态, 其转折点出现在孕穗期。综上所述, 扫网法能够全面且准确地反映稻田节肢动物群落的真实情况, 特别是在进行大规模稻田节肢动物群落的调查时, 扫网法相较于吸虫法展现出了更高的适用性。

关键词: 稻田节肢动物群落; 扫网法; 吸虫法; 生物多样性; 江汉平原

Comparison of two sampling methods for arthropod communities based on perennial data from rice field

XIE Meiqi, ZHU Hongyuan, YANG Changju, HAN Kehong, YU Jiukun, GUAN Xianjun, SHEN Liyang, XU Chengli, LU Zewei, LIU Chang, HE Beibei, PU Lei, HUA Hongxia, CAI Wanlun*

College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract: Although suction sampling is the primary method for investigating arthropod communities in rice fields, the convenience of methods has gradually become an increasingly important factor to consider when choosing survey sampling methods in response to the growing demand for large-scale surveys and sampling. Consequently, a growing number of researchers have begun to prefer using the sweeping method. Nevertheless, there is a lack of research that directly compares the effectiveness of sweep netting and suction methods in investigations. In order to establish a reference for sampling methods in research on agricultural biodiversity and insect ecology, this article compared two survey methods using sampling data from the Jiangnan Plain rice region over three consecutive years (2018 - 2020). The comparison focused on collection preferences for functional traits, collection efficiency of endemic species, and various parameters and dynamic changes

基金项目: 湖北洪山实验室重大项目(2021hszd002); 粮食丰产增效与科技创新(2017YFD0301403); 2024 湖北省粮食单产提升专项, 粮食作物虫害绿色防控技术集成与应用(2662024YJ018)

收稿日期: 2023-11-15; **网络出版日期:** 2024-10-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanluncai@mail.hzau.edu.cn

reflecting community diversity. The results showed that there was no difference in the collection preferences of the two methods for three functional traits: body size, migration ability, and vertical distribution. The compositions of common classes in the arthropod communities collected by the two sampling methods were highly similar. The larger sampling area of the sweep netting method allowed for a more comprehensive representation of species richness ($P < 0.05$). Although the two methods demonstrated consistent reflection of arthropod community indices and the abundance trends of key groups (such as parasitic wasps, spiders, and rice planthoppers), there were significant differences in the temporal trends of abundance between the two when further dividing spiders into hunting and web-forming types ($P < 0.05$). The abundance of the two types of spiders obtained through the suction sampling method showed a consistent decline throughout the survey period. In contrast, the sweep netting method exhibited a fluctuating pattern, initially declining and then increasing, with a turning point observed at the booting stage. In conclusion, the sweep netting method is a comprehensive and accurate survey sampling method for the study of the arthropod community in rice fields. It is particularly advantageous in comparison to the suction sampling method in the context of large-scale investigations of arthropod communities in rice fields.

Key Words: arthropod community; sweep netting sampling; suction sampling; biodiversity; Jiangnan Plain

水稻是我国重要粮食作物之一,其产量和品质与国家粮食安全息息相关。节肢动物群落是稻田生态系统的重要组成部分,对于水稻的生长、病虫害防控以及生态平衡都具有重要影响^[1-2]。例如,水稻生长过程中易受到众多植食性节肢动物侵扰,严重阻碍了水稻的正常生长^[3];捕食性和寄生性节肢动物群落通过捕食、寄生等生态过程控制植食性节肢动物的繁殖和扩散,保障水稻的安全生产^[4];同时,中性节肢动物参与分解有机物质,促进土壤中养分的循环和释放,并积极参与维持生态系统的稳定和平衡^[5]。因此,准确全面的稻田节肢动物群落调查是害虫综合防治、稻田生态系统研究和节肢动物生物多样性保护的根本前提和重要基础^[6-7]。然而,节肢动物空间分布广泛、物种数量众多、生活习性各异,进行农田全面调查是不切实际的,如何根据实际需求选择最具代表性和准确性的调查取样方法是长期以来的讨论热点^[8]。

稻田节肢动物群落调查取样方法包括光诱法、性诱法、陷阱法、马氏网法、目测法、拍打法、扫网法和吸虫法等,已有多项研究对这些方法进行了深入的比较和分析^[8-10]。光诱法、性诱法、陷阱法和马氏网法等属于被动调查取样法,该类方法利用物种的趋向性和活动特性对节肢动物进行被动收集,适用于监测迁移能力较强的单一节肢动物类群,但在节肢动物群落全面调查方面存在局限性^[11-15]。目测法、拍打法、扫网法和吸虫法等属于主动调查取样法,该类方法借助人力、机械等对节肢动物群落进行主动采集,更适用于稻田节肢动物的全面取样^[16]。在主动调查取样法中,目测法和盆拍法操作简单便捷,但误差较大且依赖调查人员的迅速鉴别能力^[10];扫网法操作简易,但受地区限制,适用于植株柔软或开阔地带^[17];吸虫法准确性高、适用于多种场合,是目前稻田节肢动物调查取样的主流方法^[18-19]。

随着景观生态学的发展,越来越多的研究者将目光聚焦于景观层面,对稻田节肢动物群落进行大规模调查取样的需求也随之增加^[20-21]。在大规模调查取样过程中,方法的便捷性成为了一个重要的衡量指标。虽然吸虫法在准确性方面具有显著优势,但它在操作过程中的不便之处也不容忽视^[16]。吸虫法需要吸虫器和取样框配合使用,难以独立完成,且吸虫器不仅较为笨重还易受电力或燃料的制约。综合考虑方法的便捷性、准确性、全面性以及适用性等因素,一些研究者更倾向于使用扫网法进行稻田节肢动物群落的调查取样^[22-23]。先前的研究在多种情况下分别评估了2种调查方法的优劣,发现吸虫法对不同管理措施和不同生境的响应敏感性低^[10],且采集的物种数较少^[19]。扫网法主要关注稻株上部及其靠近稻株上部的空间,不利于采集分布于稻株中下部的物种^[24-25],但扫网法与吸虫法对稻田节肢动物群落调查效果的直接比较还未见报道。

本文采用扫网法和吸虫法2种调查取样方法,在江汉平原进行了为期3年的大规模稻田节肢群落调查。通过比较2种调查取样方法的采集偏好、采集效率以及对节肢动物群落组成和关键类群变化的敏感性,对2

种调查方法的效果进行综合评估,以期今后的稻田节肢动物群落调查和水稻景观生态学研究提供调查取样方法的参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区基本情况及试验设计

研究区域位于湖北省中南部的江汉平原,该地区属亚热带季风气候、日照充足、降水充沛、地势平坦、土地肥沃,是我国主要水稻生产基地。当地水稻种植制度以一年一熟的中稻和一季晚稻为主^[26]。近年来,稻虾共养模式的迅速推广使得该地区成为研究景观格局变化对稻田节肢动物群落影响的重要区域。2018 至 2020 年,在江汉平原稻区各县市挑选 1—5 个乡镇,每个乡镇选取 2 块稻田进行节肢动物群落调查取样(图 1)。所选稻田平均分成两部分,分别运用扫网法和吸虫法 2 种调查方法在水稻生育期进行稻田节肢动物群落调查。其中 2018 年调查包含分蘖期、孕穗期、齐穗期和黄熟期,2019 年和 2020 年调查仅包含分蘖期和孕穗期。为了保持各个样点水稻发育时期的基本同步性,研究选择的是移栽期在 6 月上旬一季中稻田或稻虾田开展的调查,具体抽样时期划分为:分蘖期为移栽后 40 天(对应 7 月中旬),孕穗期为移栽后 60 天(8 月上旬),齐穗期为移栽后 80 天(8 月底至 9 月初),黄熟期为移栽后 90 天(9 月中旬)。

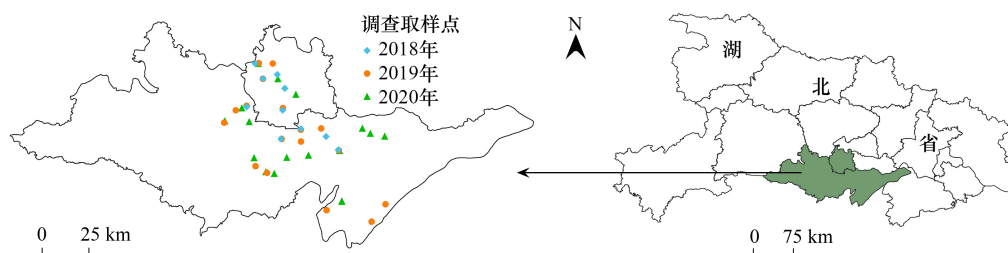


图 1 采样稻田分布图

Fig.1 Distribution of sampled rice fields

1.2 调查方法

扫网法:在采样稻田内,选取两条平行线(约长 10m,两平行线间距大于 5m),手持捕虫网末端,网圈置于水稻叶冠层,开口面与地面垂直,180°挥动捕虫网,左右往返记为一网,每条平行线行走时扫 20 网,每块稻田共计扫 40 网^[27]。

吸虫法:吸虫器参考刘雨芳等^[16]对 WFB-18AC 型二冲程喷雾器(产自山东临沂华盛农机公司)改装而成,将出风口改装为进风口,进风口固定一个 100 目的尼龙集虫网(长×宽=20cm×10cm),用于收集稻田的节肢动物。取样框由长×宽×高分别为 0.5m×0.5m×1.5m 的长方体钢筋架包裹 100 目纱布制成,除底部外,顶部和 4 个侧面均有纱布包裹,其中一个侧面的纱布可以打开,方便取样。田间取样时,采用对角线 5 点取样法。先用取样框罩取小区中的水稻,用手拍打水稻惊动昆虫使之飞向网罩顶部,自下向上用吸虫器吸取网罩内的节肢动物,每点吸虫时间约 3—5 分钟。吸虫器关闭前,取出集虫网、封紧袋口。

上述取样在上午 8 点至 11 点以及下午 16 点至 19 点两个时段进行,对于同一稻田同时采用 2 种方法对稻田节肢动物群落进行取样。将收集的节肢动物用乙酸乙酯处理后,置于 75%酒精中浸泡保存,统一编号后带回室内在体视显微镜下分类鉴定。鉴定主要参考何俊华和庞雄飞^[28]以及傅强等^[29]有关水稻害虫与天敌的分类资料进行鉴定。

1.3 数据分析

1.3.1 采集偏好

从体型大小、迁移能力和垂直分布 3 方面,对物种性状进行分类(表 1)^[30]。将采集到的节肢动物群落汇

总,按各物种个体数从多到少排列,选取个体数前 50 的物种为节肢动物群落代表,计算每个样品中 3 种性状各类别的组成比例(即对于每个给定的样品,各性状所有类别的占比总和等于前 50 种物种的占比)。通过主成分分析比较扫网法和吸虫法 2 种调查取样方法的采样偏好。该统计过程利用 R 语言(version 4.1.3)prcomp 函数完成。

表 1 物种性状分类
Table 1 Classification of species traits

功能特征 Functional traits	分类特征 Categorical traits	描述 Description
体型大小 Body size	$x<2; 2 \leq x<3; 3 \leq x<5; 5 \leq x$	雌雄平均体长(mm)
迁移能力 Migration capacity	低	不会飞的种类
	中	具有翅二型性的种类
	高	完全有翅的种类
垂直分布 Vertical distribution	基部、叶冠	主要垂直生境层

1.3.2 采集效率

通过对总虫数(N)和物种丰富度(S)的配对分析比较 2 种调查取样方法在揭示稻田节肢动物物种丰富度方面的优劣。对上述需比较的参数进行数据正态性、方差齐性检验,通过则采用配对 t 检验评估两种调查取样方法获得的参数之间的差异;不通过则采用非参数检验的方法(Wilcoxon 符号秩检验)进行比较。上述分析使用 IBM SPSS Statistics 20 软件完成。

将各时期 2 种调查取样方法调查的节肢动物群落汇总。以科为单位,根据捕获频率将节肢动物为常见科和稀有科 2 部分,捕获频率 $\geq 40\%$ 的科划分为常见科,其余科划分为稀有科^[31-32]。最后,通过 R 语言(version 4.1.3)相关功能包(vegan,dplyr),采用 Mantel 检验比较 2 种调查方法采集的常见科之间的相似性^[33],并通过不同调查方法采集的特有科(仅被 1 种调查方法采集到的科)数量比较 2 种调查方法对稀有科的采集能力。

捕获频率 =
$$\frac{\text{扫网法捕获到某物种的稻田数量} + \text{吸虫法捕获到某物种的稻田数量}}{\text{扫网法调查的稻田总数量} + \text{吸虫法调查的稻田总数量}} \times 100\%$$

1.3.3 节肢动物群落结构及关键类群丰度的时间动态反映

计算了物种多样性(H')、均匀性指数(J)、优势集中度(C)和功能团多样性指数(F)以及稻飞虱、寄生蜂和蜘蛛 3 个关键类群的丰度。利用上述参数,通过重复测量方差分析比较了 2 种调查取样方法在反映节肢动物群落组成和稻田节肢动物关键类群丰度的时间动态方面的差异。此部分数据统计比较均采用 SAS 软件(version 9.4)实现。

(1) 物种多样性(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

(2) 均匀性指数(J):

$$J = \sum_{i=1}^S \left(\frac{P_i \ln P_i}{\ln S} \right)$$

(3) 优势集中度(C):

$$C = \sum_{i=1}^S P_i^2$$

式中, S 代表物种丰富度,而 P_i 则表示第 i 个物种的个体数(N_i) 占总虫数(N) 的比例。

(4) 功能团多样性(F):

$$F = - \sum_{m=1}^4 (P_m \ln P_m)$$

式中,功能团分为:植食性功能团、捕食性功能团、寄生性功能团和中性功能团; P_m 为第 m 个功能团个体数(N_m)占总虫数(N)的比例。

(5) 丰度:

$$\text{某关键类群丰度} = \ln(\text{某关键类群个体数} + 1)$$

2 结果与分析

2.1 2 种调查方法的采集偏好分析

在物种性状的主成分分析中 2 种调查方法存在大面积重叠(图 2),表明 2 种调查方法所采集的节肢动物群落在体型大小、迁移能力和垂直分布 3 种性状各类别的组成上呈现出高度的相似性,即 2 种调查方法在采集具有不同体型大小、迁移能力和垂直分布特征的节肢动物时,并未表现出显著的采集偏好差异。

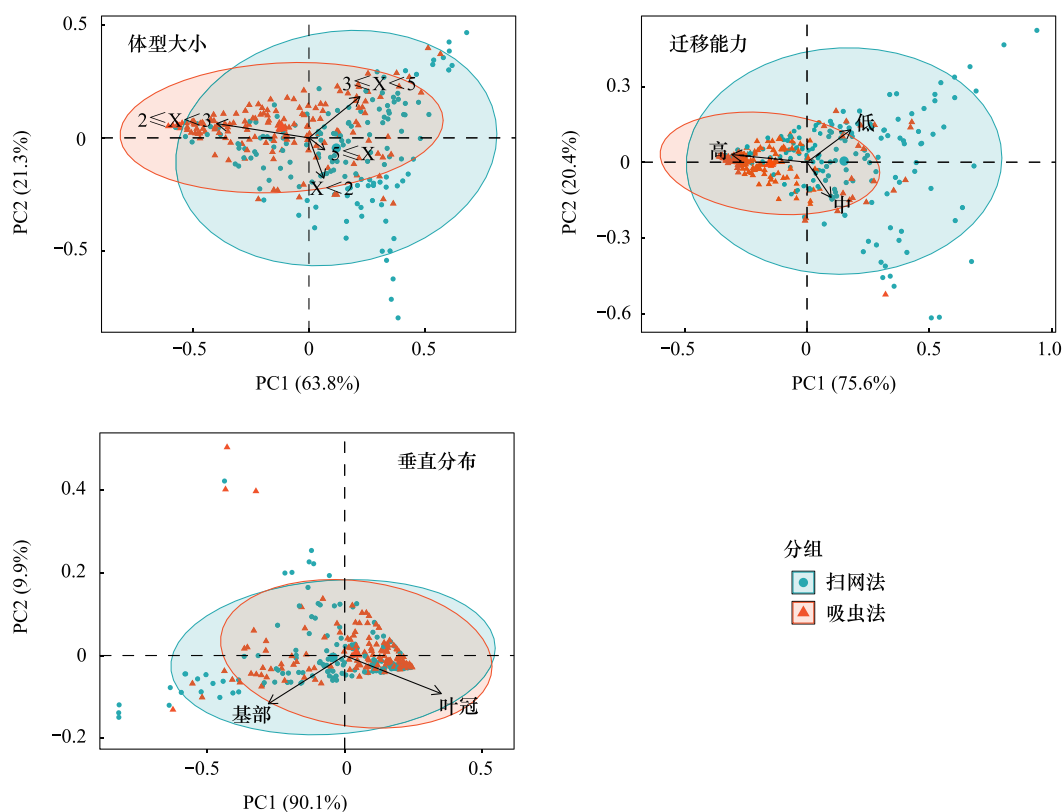


图 2 2 种调查取样方法在物种性状上的采集偏好

Fig.2 Collection preferences of the two survey methods on species traits

2.2 2 种调查方法的采集效率比较

扫网法所采集的节肢动物群落的总虫数和物种丰富度均显著高于吸虫法(表 2, $P < 0.05$),表明扫网法能够更全面地揭示水稻生态系统中节肢动物的物种丰富度。研究发现除了 2019 年的分蘖期外,扫网法在其余时期均表现出更高的特有科数量(表 3)。这一结果证实了扫网法在调查稻田生态系统中稀有节肢动物方面具有更高的效率和灵敏度。2 种调查方法采集的常见科节肢动物群落具有显著相似性(表 4),表明扫网法和吸虫法在常见科调查中具有相似的有效性和可靠性。

2.3 2 种调查取样方法反映的群落特征值和关键类群丰度变化趋势比较

重复观测资料方差分析的第一层检验即轮廓检验表明,2 种调查取样方法所反映的物种多样性、均匀性指数、优势集中度和功能团多样性的时间动态变化趋势是一致的(图 3)。与之相似,2 种调查取样方法所反

映的寄生蜂、蜘蛛和稻飞虱丰度的时间动态变化趋势也是一致的(图4)。

表 2 2 种调查取样方法节肢动物群落总虫数和物种丰富度的比较

Table 2 Comparison of total abundance and species richness of arthropod communities between the two survey methods

参数 Index	取样方法 Survey methods	2018 年		2019 年		2020 年	
		分蘖期	孕穗期	分蘖期	孕穗期	分蘖期	孕穗期
总虫数(N)	扫网法	1272.88±467.3a	311.13±58.78a	4632.54±906.87a	1857.88±441.00a	3200.43±1025.09a	420.07±157.87a
Total number	吸虫法	202.13±32.44b	116.29±19.75b	604.19±118.68b	130.85±27.76b	306.57±73.69b	38.67±6.10b
物种丰富度(S)	扫网法	29.46±1.73a	32.63±2.49a	25.15±1.51a	39.35±2.64a	24.5±1.62a	22.07±1.68a
Species richness	吸虫法	21.25±1.07b	21.96±2.08b	22.54±1.64a	18.42±1.34b	13.93±0.91b	10.03±0.94b

2 种调查方法 2018—2020 年的重复数分别为 24、26、30,表中数据为平均数±标准误($n=24\backslash26\backslash30$);同一年份相同时期的数据后不同小字母表示经过配对 t 检验分析或 Wilcoxon 符号秩检验差异显著 ($P<0.05$)

表 3 2 种调查取样方法采集的节肢动物群落的常见科和特有科

Table 3 Common families and endemic families of arthropod communities collected by the two survey methods

科目分类 Categorisation of families	2018 年		2019 年		2020 年	
	分蘖期	孕穗期	分蘖期	孕穗期	分蘖期	孕穗期
总科目数 Total families	80	84	81	83	86	85
常见科 Common families	18	20	18	21	16	10
特有科 Endemic families	扫网法	17	18	10	19	30
	吸虫法	1	4	12	3	4

2 种调查方法 2018—2020 年调查的稻田数分别为 24、26、30

表 4 2 种调查取样方法采集的节肢动物群落常见科相似性

Table 4 Similarity of common families of arthropods collected by the two survey methods

参数 Index	2018 年		2019 年		2020 年	
	分蘖期	孕穗期	分蘖期	孕穗期	分蘖期	孕穗期
R^2	0.3993	0.2064	0.2376	0.3004	0.3063	0.2727
P	0.0002	0.0325	0.0094	0.006	0.0001	0.001

2 种调查方法 2018—2020 年调查的稻田数分别为 24、26、30,矩阵相似性采用 Mantel's 检验,距离计算方法为 Bray-curtis 距离

然而,若将蜘蛛类群根据其捕食方式划分为结网型和游猎型,2 种调查取样方法反映的结网型蜘蛛和游猎型蜘蛛丰度时间动态具有显著性差异(结网型: $F=2.84,df=3,44,P=0.049$;游猎型: $F=14.66,df=3,44,P<0.001$)。在整个调查期间,利用吸虫法获得的两种类型蜘蛛的丰度变化均呈现趋势递减,而采用扫网法获得的丰度变化则先降后升,其转折点出现在孕穗期(图5)。

3 讨论

3.1 扫网法不存在垂直分布偏好

在节肢动物群落调查时,若调查取样方法带有偏好性,那么所获取的节肢动物群落数据将不可避免地产生偏差,如使用黄盘法、陷阱法和吸虫法采集到的节肢动物群落之间具有显著差异性^[34]。因此,无采集偏好是保证稻田节肢动物群落调查全面性和准确性的关键^[35]。由于扫网法和吸虫法不依赖于节肢动物的特定行为或生理特征进行取样,因此它们在体型大小和迁移能力方面不存在偏好性^[36]。但在垂直分布方面,传统观念认为,吸虫器可以深入稻田的各个层次,因此,它被认为是一种相对无偏好的采集方法。而扫网法主要调查水稻叶冠部,难以采集稻株基部的节肢动物,对节肢动物的垂直分布具有偏好性^[19,37]。但本研究表明,扫网法采集的肢动物群落在体型大小、迁移能力和垂直分布方面与吸虫法均无显著性差异(图2),即不存在垂直分布偏好。

2 种调查取样方法在采集稻田常见科节肢动物群落(图4)以及大豆田节肢动物群落^[34]时均显示出高度相似性,这进一步证实了上述结果。其主要原因是稻株较为柔软,扫网能够轻易穿过叶片和茎秆,捕获藏匿其中的节肢动物。此外,节肢动物的垂直生态位存在日变化,以主要分布于水稻基部的狼蛛为例,随着温度的上

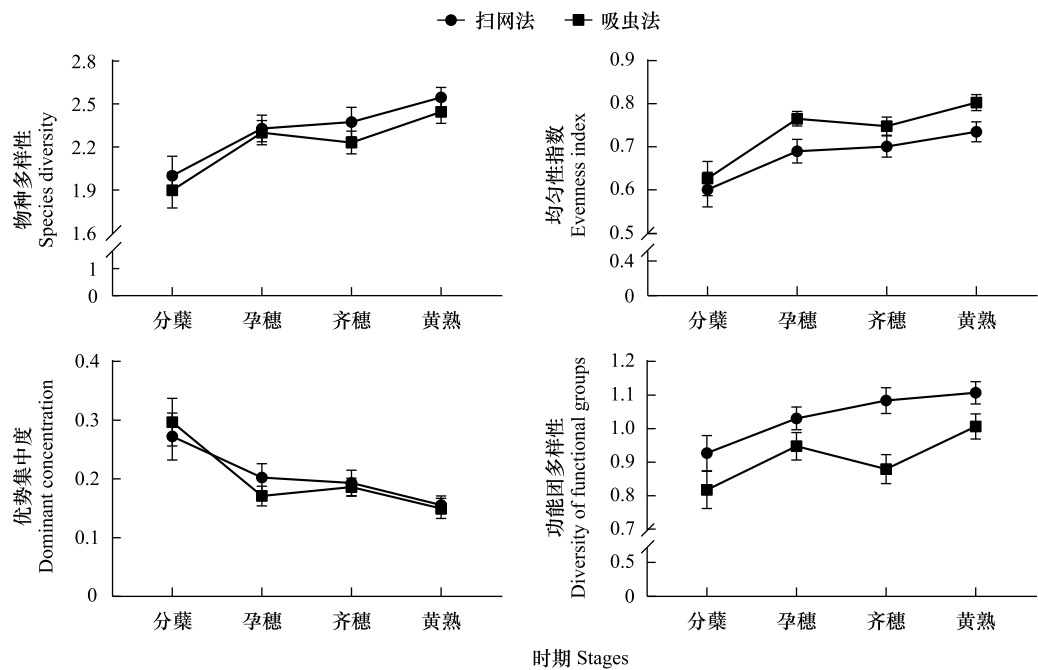


图 3 2 种调查取样方法对稻田节肢动物群落特征值时间动态变化趋势的反映

Fig.3 Monitoring of temporal dynamics of arthropod community structure characteristic by the two survey methods

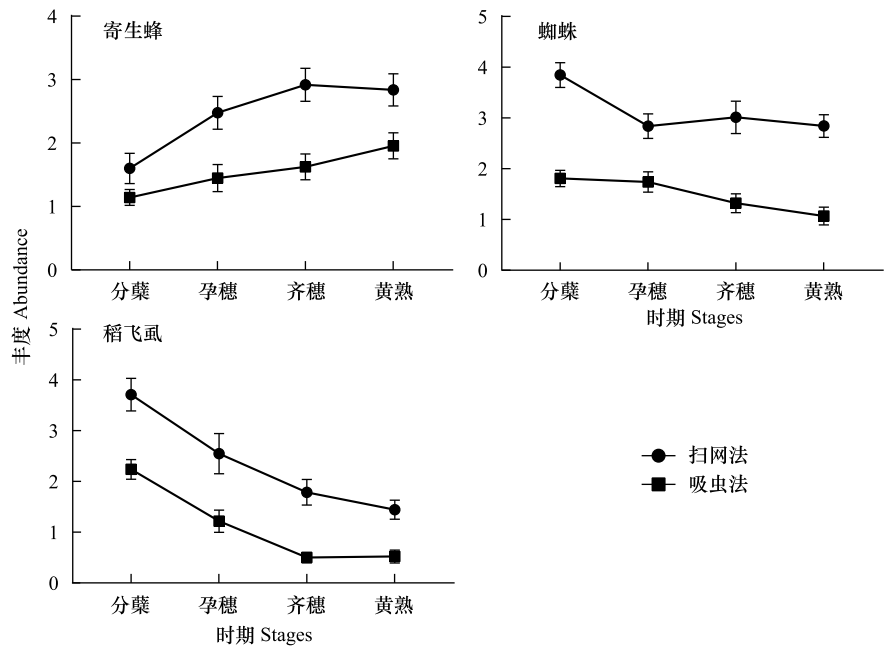


图 4 2 种调查取样方法对稻田节肢动物关键类群丰度时间动态变化趋势的反映

Fig.4 Monitoring of temporal dynamics of key taxa abundance and species richness by the two survey methods

升,其生态位变宽^[38]。因此在本文进行调查取样的时间段内(上午 8 点至 11 点和 16 点至 19 点),狼蛛会向叶冠移动,这使得扫网法更容易捕获它。

3.2 扫网法能更全面的调查物种丰富度

准确了解群落的物种丰富度是研究稻田节肢动物群落结构的重要前提^[39]。本研究通过对比分析发现,扫网法相较于吸虫法能更全面的调查稻田节肢动物群落物种丰富度(表 2)。这一发现与先前陈洪凡等^[40]在

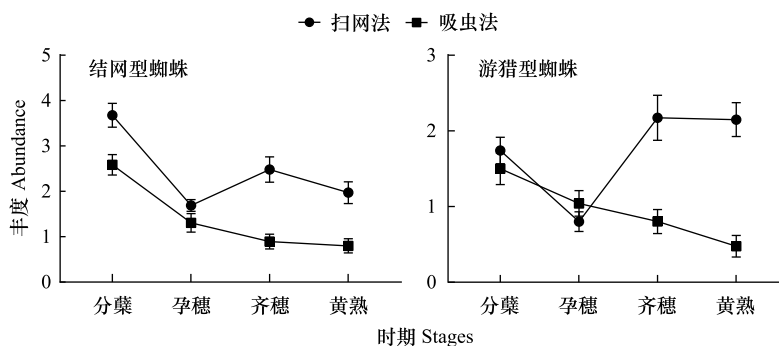


图5 2种调查取样方法对结网型蜘蛛和游猎型蜘蛛丰度时间动态变化趋势的反映

Fig.5 Monitoring of temporal dynamics of web-forming spiders and huntsman spiders abundance by the two survey methods

稻田的研究结果相一致。其主要原因可能是扫网法在田间具有更广泛的采集范围,因此更容易捕获到在节肢动物群落中出现频率较低、数量较少的物种,从而能更全面地记录稻田节肢动物的种类。

3.3 扫网法反映群落特征值和关键类群丰度变化的准确性与吸虫法相似或更优

对群落特征值和关键类群丰度变化趋势的准确反映是及时有效进行害虫防治的前提^[41]。在本研究中,扫网法和吸虫法在反映同一年份四个时期稻田节肢动物群落特征值和关键类群丰度变化趋势方面表现出一致性。这一结果表明,扫网法在反映群落特征值和关键类群丰度变化时具有与吸虫法相同的准确性。当进一步将蜘蛛划分为游猎型蜘蛛和结网型蜘蛛时,吸虫法的数据表明这两种类型的蜘蛛丰度随水稻生育期的发展均呈现下降趋势。然而,扫网法的结果却显示,无论是游猎型蜘蛛还是结网型蜘蛛,在孕穗期到齐穗期期间,它们的丰度均存在一个明显的升高阶段。许多研究同样表明蜘蛛丰度在孕穗期到齐穗期呈现上升趋势^[42-45],因此,扫网法可能更适用于对蜘蛛类群进行更加细致和准确的动态监测。

4 结论

在实验设计中,调查人员应根据调查目的选取最适合的调查方法^[46]。本研究表明,扫网法与吸虫法在稻田节肢动物调查时均无显著偏好,且两者在反映群落特征值和关键类群丰度变化方面均表现出相似的准确性。然而,扫网法在调查物种丰富度时更为全面,并且操作起来更具便捷性。因此,在对稻田节肢动物群落进行大规模调查取样时,相较于吸虫法,扫网法是一个更优的选择。

参考文献 (References):

- [1] 陈杰, 华红霞, 涂军明, 曹志刚, 蔡万伦, 赵景. 稻田节肢动物群落结构研究进展. 湖北农业科学, 2017, 56(6): 1009-1011, 1022.
- [2] 张清泉, 王华生, 覃保荣, 谢义灵, 黄超燕, 王峰, 王凯学. 生态稻田节肢动物群落结构及其多样性研究. 中国植保导刊, 2014, 34(4): 19-24.
- [3] 李有志, 方继朝. 水稻害虫: 研究进展与展望. 昆虫学报, 2024, 67(4): 443-455.
- [4] 蒲雷, 蔡万伦, 华红霞, 沈栋阳, 朱宏远, 李绍勤. 江汉平原稻田主要害虫与天敌关系分析. 昆虫学报, 2024, 67(4): 582-588.
- [5] 刘雨芳, 古德祥. 稻田中性昆虫多样性及其生态功能分析. 中国生物防治, 2002, 18(4): 149-152.
- [6] Bardgett R. Causes and consequences of biological diversity in soil. Zoology, 2002, 105(4): 367-375.
- [7] 郑云开, 尤民生. 农业景观生物多样性与害虫生态控制. 生态学报, 2009, 29(3): 1508-1518.
- [8] 刘向东. 田间昆虫的取样调查技术. 应用昆虫学报, 2013, 50(3): 863-867.
- [9] 吴进才, 郭玉杰, 束兆林, 杨金生. 稻田节肢动物群落不同取样方法的比较. 昆虫知识, 1993, 30(3): 182-183.
- [10] 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. 农田节肢动物不同取样方法的综合比较. 生物多样性, 2021, 29(4): 477-487.
- [11] 张真, 王鸿斌, 陈国发, 孔祥波, 张苏芳, 刘福. 信息化学物质在害虫监测中的应用. 昆虫学报, 2022, 65(3): 351-363.
- [12] Hambäck P A, Porcel M, Tasin M, Samnegård U. Predatory arthropod community composition in apple orchards: orchard management, landscape structure and sampling method. Journal of Applied Entomology, 2021, 145(1/2): 46-54.

- [13] 张纯胄, 杨捷. 害虫趋光性及其应用技术的研究进展. 华东昆虫学报, 2007, 16(2): 131-135.
- [14] Wilson J S, Jahner J P, Starley L, Calvin C L, Ikerd H, Griswold T. Sampling bee communities using pan traps: alternative methods increase sample size. Journal of Insect Conservation, 2016, 20(5): 919-922.
- [15] González E, Salvo A, Valladares G. Insects moving through forest-crop edges: a comparison among sampling methods. Journal of Insect Conservation, 2020, 24(2): 249-258.
- [16] 刘雨芳, 张古忍, 古德祥. 利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落. 植物保护, 1999, 25(6): 39-40.
- [17] Woltz J M, Landis D A. Comparison of sampling methods of *Aphis glycines* predators across the diel cycle. Journal of Applied Entomology, 2014, 138(7): 475-484.
- [18] Ludy C, Lang A. How to catch foliage-dwelling spiders (Araneae) in maize fields and their margins: a comparison of two sampling methods. Journal of Applied Entomology, 2004, 128(7): 501-509.
- [19] 王宇, 陈杰, 肖敦皇, 马富岗, 华红霞. 不同取样方式在稻田节肢动物采集中的效率评估. 环境昆虫学报, 2016, 38(6): 1090-1098.
- [20] Dominik C, Seppelt R, Horgan F G, Settele J, Václavík T. Landscape composition, configuration, and trophic interactions shape arthropod communities in rice agroecosystems. Journal of Applied Ecology, 2018, 55(5): 2461-2472.
- [21] 刘雨芳, 阳菲, 谢美琦, 田滕滕. 湘中丘陵区自然景观异质性与稻田捕食性天敌保护及生态控害效能的相关性. 植物保护学报, 2021, 48(4): 862-871.
- [22] 许见辉, 刘佰明, 白义川, 王芳, 何亮, 谷希树, 张李香, 杨泽众. 天津武清区稻田节肢动物群落多样性. 环境昆虫学报, 2024, 46(2): 449-458.
- [23] 羊绍武, 张晓明, 郭海业, 杜春泽, 全运筹, 傅杨, 陈国华. 多年生水稻田主要害虫、天敌消长规律及时间生态位分析. 应用昆虫学报, 2019, 56(6): 1370-1381.
- [24] 陈洪凡, 梁玉勇, 叶德萍, 兰波, 李湘民, 杨迎青. 扫网法取样下稻田节肢动物群落组成分析. 安徽农业大学学报, 2017, 44(6): 1124-1130.
- [25] 林源, 周夏芝, 毕守东, 邹运鼎, 马飞, 程遐年, 柯磊, 杨林, 郭骅. 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响. 生态学报, 2013, 33(7): 2189-2199.
- [26] 王嫚嫚, 刘颖, 高奇正, 刘大鹏. 湖北省水稻种植模式结构和比较优势时空变化. 经济地理, 2017, 37(8): 137-144.
- [27] 朱平阳, 郑许松, 张发成, Alberto T Barrion, 徐红星, 杨亚军, 陈桂华, 吕仲贤. 生态工程控害技术提高稻纵卷叶螟天敌功能团的种群数量. 中国生物防治学报, 2017, 33(3): 351-363.
- [28] 何俊华, 庞雄飞. 水稻害虫天敌图说. 上海: 上海科学技术出版社, 1986.
- [29] 傅强, 何佳春, 吕仲贤, Barrion A T. 中国水稻害虫天敌的识别与利用. 浙江: 浙江科学技术出版社, 2021.
- [30] Dominik C, Seppelt R, Horgan F G, Settele J, Václavík T. Landscape heterogeneity filters functional traits of rice arthropods in tropical agroecosystems. Ecological Applications: a Publication of the Ecological Society of America, 2022, 32(3): e2560.
- [31] 王世雄, 赵亮, 李娜, 郭华, 王孝安, 段仁燕. 稀有种和常见种对植物群落物种丰富度格局的相对贡献. 生物多样性, 2016, 24(6): 658-664.
- [32] 谢冰一, 程新如, 吕乐, 张宏斌, 陈宝雄, 刘云慧, 宇振荣, 段美春. 生态学报, 2022, 42(13): 5285-5294.
- [33] 尤民生, 陶方玲, 庞雄飞. 稻田节肢动物群落相似性的研究. 华南农业大学学报, 1991, 12(2): 23-28.
- [34] 李悦铭, 高宇, 吴磊, 苗雨, 许喆, 史树森. 大豆田间节肢动物群落调查取样方法的比较研究. 应用昆虫学报, 2021, 58(2): 461-471.
- [35] 李实, 罗楚亮. 中国收入差距究竟有多大? ——对修正样本结构偏差的尝试. 经济研究, 2011, 46(4): 68-79.
- [36] 吴琼, 唐璞, 陈学新. 寄生蜂采集与田间调查取样技术. 应用昆虫学报, 2015, 52(3): 759-769.
- [37] Yi Z, Jinchao F, Dayuan X, Weiguo S, Jan C. A Comparison of Terrestrial Arthropod Sampling Methods. Journal of Resources and Ecology, 2012, 3(2): 174-182.
- [38] 姜永厚, 吴进才, 徐建祥, 刘井兰, 邱慧敏, 杨国庆, 王洪全. 稻田蜘蛛生态位变化及杀虫剂对捕食功能的影响. 生态学报, 2002, 22(8): 1286-1292.
- [39] 肖能文, 赵志平, 李果, 高晓奇, 吉晟男, 徐靖, 刘冬梅, 李俊生. 中国生物多样性保护优先区域生物多样性调查和评估方法. 生态学报, 2022, 42(7): 2523-2531.
- [40] 陈洪凡, 黄建华. 稻田节肢动物群落多样性指数与稻飞虱发生量的线性相关分析. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 216-220.
- [41] 矫振彪, 陆宴辉, 吴孔明. 棉田绿盲蝽种群密度的调查方法. 应用昆虫学报, 2012, 49(3): 610-613.
- [42] 李超. 灌溉方式对水稻产量及主要天敌、害虫消长动态的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.
- [43] 李雪梅, 郑晓旭, 何帅洁, 杨凤连, 吴刚. 不同农事操作技术对稻田害虫和天敌种群动态的影响. 应用昆虫学报, 2020, 57(1): 105-112.
- [44] 满吉勇, 袁凯, 陈宝雄, 王子睿, 刘云慧. 太湖流域稻田管理方式对蜘蛛群落特征的影响. 中国生态农业学报: 中英文, 2021, 29(9): 1467-1479.
- [45] 马晓慧, 桑海旭, 刘郁. 辽宁盘锦稻区杂草地与稻田中蜘蛛动态. 植物保护, 2015, 41(3): 165-168.
- [46] 金麟雨, 李舒萌, 刘艳艳, 张菁, 刘泰杉, 周聪, 赵小英, 李东来. 样线法和网捕法在机场鸟情调查中的应用比较. 生态学报, 2022, 42(22): 9348-9358.