

DOI: 10.5846/stxb202104050871

谢冰一, 程新如, 吕乐, 张宏斌, 陈宝雄, 刘云慧, 宇振荣, 段美春. 农田节肢动物类群不同分类级别和个体数对物种数的替代效果. 生态学报, 2022, 42(13): 5285-5294.

Xie B Y, Cheng X R, Lü L, Zhang H B, Chen B X, Liu Y H, Yu Z R, Duan M C. Substitution effect of different classification levels and individual numbers of arthropod taxa in farmland. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(13): 5285-5294.

农田节肢动物类群不同分类级别和个体数对物种数的替代效果

谢冰一¹, 程新如¹, 吕乐¹, 张宏斌², 陈宝雄², 刘云慧³, 宇振荣³, 段美春^{1,*}

¹ 西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400715

² 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125

³ 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193

摘要: 农田生物多样性评价中常采用指示类群基于物种鉴定水平的数据计算多样性指数, 如果能用高级别的分类鉴定结果(如科)或直接用该指示类群个体数来代替该类群物种水平上的多样性指数, 可以极大地节省鉴定的成本和降低鉴定难度。同时采用多个指示类群田间取样数据和多种分析方法验证这个问题有助于获得更为普适的结论。为研究农田节肢动物不同分类级别和个体数对于物种丰富度的替代效果, 于 2019 年 5—8 月在浙江省宁波市的两片不同管理措施和多生境的农田景观区进行了节肢动物群取样调查, 并对蜘蛛和蜂类两个类群进行了科级和物种级别的鉴定。通过分析目级和科级分类水平的数目、指示类群的个体数与物种丰富度之间的相关性; 并基于这 4 个指数进行不同管理措施和生境间的双因素方差分析; 同时基于目级、科级和物种级别数据, 采用非度量多维尺度分析(NMDS)对比他们在不同管理措施和生境间的种类组成差异。结果显示: (1) 将蜘蛛、蜂类分类至科级可分别拟合其物种水平数据 63% 和 89% 的变异性, 并且比目级的数据相关性更大。(2) 两个指示类群的个体数与物种数之间都有极为显著的相关性, 且 $r \geq 0.7$ 。(3) 比起目级数, 科级数和个体数在不同管理措施和生境间的差异结果和物种数更类似。(4) 基于分科数据的 NMDS 在不同管理措施和生境间差异的结果也和物种级别数据的结果更类似。因此, 在农田生物多样性的评估中, 可以在一定程度上采用较高层次分类的数据, 其中科级水平的数据作为首选, 从而降低分类鉴定难度并提高工作效率。在需要快速进行蜘蛛和蜂类等基于大量标本数目的生物多样性评估时, 可直接统计指示类群个体数量来替代物种数结果。

关键词: 农田生境; 生物多样性; 蜘蛛; 蜂类; 丰富度; 多度

Substitution effect of different classification levels and individual numbers of arthropod taxa in farmland

XIE Bingyi¹, CHENG Xinru¹, LÜ Le¹, ZHANG Hongbing², CHEN Baoxiong², LIU Yunhui³, YU Zhenrong³, DUAN Meichun^{1,*}

¹ College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China

² Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China

³ College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: The diversity index is often calculated based on the data of species identification level. If the diversity index at the species level can be replaced by high-level taxonomic identification results (e.g., families) or directly by the number of

基金项目: 国家自然科学基金项目(41901218); 国家重点研发计划项目(2018YFC0507203); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(SWU119074)

收稿日期: 2021-04-05; 网络出版日期: 2022-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: duanmc@swu.edu.cn

individuals within the indicator group, it can greatly save the cost and improve the work efficiency. Field sampling data from multiple indicator taxa and multiple analytical methods could be used to verify this problem, which is helpful to obtain more general conclusion. In order to study the substitution effect of different classification levels and individuals of arthropods on species richness, arthropod sampling was carried out in two different management measures and multi-habitat farmland landscape areas in Ningbo, Zhejiang Province from May to August, 2019. Arthropods were identified to order level, while spiders and bees were identified at both family level and species level. The correlations between the number of taxa at order or family level, the number of individuals in indicator taxa and species richness were analyzed, and two-way analysis of variance (ANOVA) based on these four indexes between different management measures and different habitats were carried out. The non-metric multidimensional scale analysis (NMDS) was used to compare their species composition differences between different management measures and habitats based on the data of order, family and species level. The results showed that: (1) 63% and 89% of the variability of species richness based on species level data could be fitted by the number of family of spiders and bees, respectively, and the correlation between species richness and the number of family of spiders or bees ($r=0.79$ and $r=0.95$, respectively) was greater than that of arthropod order level data ($r=0.32$ and $r=0.53$, respectively). (2) There was a very significant correlation ($r\geq 0.7$) between the number of individuals and species richness within the indicator taxon. (3) The two-way ANOVA showed that there were significant differences between different management measures based on three identified level data, but the significant differences among habitats based on the data of family and individuals were more similar to those of species richness than the data of order level. (4) The results of NMDS based on data of family level were also more similar to those of species level than the order level. There were significant differences of species or family composition of spiders or bees among different management measures or some habitats, but not in arthropod order composition. Since the higher classification levels such as the order, are not natural units, but artificial classification levels facilitate the classification of information systems, the results may not better reflect the indicator results of species richness. Therefore, for the assessment of farmland biodiversity, the classification data at a higher level could be used to some extent, especially the family level would be the first choice. If a rapid assessment of farmland biodiversity based on a large number of spider or bee specimens is required urgently, the number of individuals of indicator taxon can be directly counted to replace the results of species richness.

Key Words: farmland habitat; biodiversity; spiders; bees; richness; abundance

如何在获得足够粮食产量的同时保护生物多样性是当前的研究热点^[1-3]。生物多样性是生态安全的基础,常用作指示生态环境质量的重要指标^[4]。目前,我国针对农田区域的生物多样性研究仍不能满足我国农田生物多样性保护的要求,也无法为恢复农田生物多样性、实现农业可持续发展提供足够的数据和技术支持。在评估农田多样性的工作开展过程中,物种水平的数据(如物种丰富度)最为理想^[5],它反映了生物多样性最为人熟知的一方面:物种多样性。但获得物种多样性的信息难度较大,往往需要较多的时间、详细的分类学知识和专家的支持。由于农田的物种大多数是常见种,分类学家往往对发现新物种概率更大的自然保护区更感兴趣,并且往往需要及时快速地评估农田生物多样性和生态环境状况。由于目前鉴定技术与分类学知识的局限,物种的鉴定是生物多样性评估工作中最大的困难之一,同时也阻碍了农田生物多样性调查和评估工作的广泛开展。那么在农田生物多样性评估中,是否可以采用更高级别的分类数据或者直接统计某一指示类群的个体数(多度)来代表鉴定到物种水平的物种丰富度?研究结论是否受分类水平的影响,是否目级数和科级数的结果和物种数的结果一致、或者基于某一指示类群的个体数和物种丰富度的分析结果是否一致?如果答案是肯定的,那么必将大大降低工作成本,加速和推动农田生物多样性调查和评价工作。

节肢动物是农田生物多样性重要的组成部分,是农田中最丰富的生物类群之一^[6-7]。农田节肢动物是农业可持续发展的基础,如蜘蛛、蜂类可提供虫害控制、授粉等生态系统服务^[8],同时节肢动物多样性随环境的

变化也是评估农田生态环境质量的重要指标之一^[9-10],也是农业生物多样性评估的重要指示生物类群之一^[11-13]。其中,由于蜂类、蜘蛛这两类生物对于农业环境变化敏感,分类基础较好,和其他类群相关性强,同时物种种类繁多,数量基数大,因此成为农田生物多样性评估、农业生境质量调查最常用的类群之一^[14-16]。

本研究以节肢动物中蜘蛛与蜂类为指示生物,通过收集农田中节肢动物的分目数据,蜘蛛和蜂类两类群的分科数据和个体数来比较其相对于物种水平的物种丰富度的指代效果,以回答如下两个问题:(1)以节肢动物评估农田生物多样性时,是否可以用较高分类水平的数据,如目级数和科级数,来替代物种水平上的物种丰富度的结果?(2)是否可以只统计指示类群的个体数来反映其物种水平的物种丰富度结果?

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于浙江省宁波市鄞州区古林镇,该地地形平坦,平均海拔高度 5m,地属于鄞西平原,土层较厚,以红壤和黄壤为主;亚热带季风气候,气候温和,年平均气温 17.9℃,年平均降水量 1400—1450mm,年平均日照 2010h,无霜期 259d。为了衡量生物多样性指数对于环境梯度的敏感性,选择该地区的一片有机农业管理区和一片常规管理区及其下不同的生境类型进行取样设计,以衡量不同指标在不同管理措施和生境下差异结果的一致性。

1.2 样地设计与取样方法

有机管理区位于古林镇前虞村(29°80'N, 121°40'E)的“天胜四不用农场”,该区总面积为 68.67hm²,自 2012 年建立至今,农场在全区域范围内实行有机管理,未使用化肥和农药;主要生境类型包括露天菜地、蔬菜大棚、稻田和果园。露天菜地一年主要种植一轮红薯或蔬菜,蔬菜大棚一年种植两轮绿叶蔬菜,稻田实施水稻和小麦轮作,果园主要种植桃树和樱桃,并在林下散养蛋鸡,都只施用有机肥。常规管理区位于距离有机管理区约 5km 的古林镇共任村(29°81'N, 121°45'E),以常规的集约化耕作管理方式进行种植管理。露天田块一年一般种植 2 轮蔬菜或玉米、大豆等作物。水稻田进行水稻席草轮作,大棚蔬菜地年种植 6 轮绿叶蔬菜,施用较多的化肥和农药,果园主要是柑橘、李树或梨树,有的已经荒废,人为管理很少。详细信息参见孙玉芳等^[27]。

在每片区域中同时选择两种面状生境(果园(GY),露天菜地(LC))和三种线状生境(稻田田埂(SD),农田边界(NB),蔬菜大棚(DC))进行节肢动物多样性取样,这几种生境是该地区最为常见的农业生境类型,能较好的代表整个地区的农田节肢动物现状。每种生境类型设置 3 个重复样地(样地间间隔至少 100m,露天菜地和农田边界除外),每个管理片区合计 15 个取样地,总计 30 个样地。在每个面状生境样地分别设置 10m×10m 的样方,对于每个线状生境样地分别设置 2m×50m 或 1m×100m 的样带。由于稻田田埂的宽度较窄,我们根据田埂的实际情况,在田埂中段设置 50m 的样带,选入的田埂宽度均在 0.4—0.6m,以减少在不同管理措施下的偏差。

采用三种取样方法进行农田节肢动物综合取样。用地表陷阱杯法进行地表节肢动物调查。对于面状生境,采用五点取样法在每个样方内设置 5 个陷阱,将陷阱分别置于样方中心点及样方两条对角线上距离样方中心点 4m 左右的位置;对于线状生境,5 个陷阱杯沿着样带中间每间隔 5m 放置一个。陷阱杯为高 12cm、杯口半径 4cm 的硬质塑料杯。杯内倒入约 1/3 的饱和食盐水,并加入几滴洗洁精以破坏液面的表面张力。同时使容器边缘稍低于或持平于土壤表面,并在容器上方 5cm 处支撑一块有机玻璃片作为防雨罩。于 5 月 28 日—6 月 11 日,7 月 27 日—8 月 24 日期间共计取样六周,陷阱杯放置一周后收集其中标本并更换溶液。

使用扫网法对植被冠层节肢动物进行调查。对于面状生境,在每个样方内随机行走扫网;对于线性生境,沿样带进行扫网。调查人员在样方或样带内行走 20min,利用捕虫网捕获节肢动物。步行速度大约为 6—7m/min,同时挥动捕虫网捕获植被冠层及上方的节肢动物。捕虫网网纱 80 目,网口直径 30cm,网深 55cm,杆长 110cm。取样于 9:30 am 至 5:30 pm 的晴天,气温 15℃ 以上,风速<2.5m/s 下进行。分别于 5 月 29—6 月

2 日、7 月 29—8 月 3 日、8 月 23 日—8 月 25 日共计每个样地完成三轮扫网。

采用挂盆陷阱法(挂盆法)对空中飞行节肢动物进行取样。每个面状生境样方内设置 9 个陷阱盆,分别置于样方分割为约 3m 的小栅格的交叉点上,在每个样方点,黄白蓝色盆形陷阱分开交叉放置。在每个线状生境的样带上放置黄色、蓝色、白色的盆形陷阱各 3 个,其中不同颜色的陷阱相间排列,每个陷阱至少间隔 4m。盆形陷阱口径为 21cm、高为 12.5cm,将其挂在长 1.5m 的支架上,支架插入地下约 30cm 固定。陷阱中放入 300mL 饱和食盐水和少量洗洁精。每放置一周收集其中动物标本并更换溶液,取样时间同地表陷阱杯法。

1.3 数据处理

所有捕获的节肢动物参考《中国土壤动物检索图鉴》^[17]分目,其中对蜘蛛目和挂盆法捕获的蜂类请专家进行分科和分种,统计科级数和物种水平的物种丰富度。采用 Pearson 相关分析,计算各个分类级别下面的丰富度(即该级别下面的分类类别数量)之间的相关性,通过线性拟合得出其回归模型并计算 R^2 ,以衡量高级别的分类数据(如目级数和科级数)能否替代物种级别的分类数据(物种数)。采用 Pearson 相关分析蜘蛛和蜂类的物种丰富度和其类群个体数之间的相关性,并通过线性拟合得出其回归模型并计算 R^2 ,用来衡量指示类群的个体数能否替代其物种丰富度^[10]。

采用双因素方差分析,基于不同分类级别的指数评估不同管理措施和生境间的生物多样性差异。如果该鉴定水平下的指数和物种分类水平下的物种数在不同管理措施和生境间的差异显著性结果一致,那么就说明这种分类级别及其指数能较好地替代物种鉴定水平的物种丰富度评价结果^[18],双因素方差分析在 SPSS 16.0 中进行。

为了比较不同分类级别下的数据在不同管理措施与不同生境间的物种组成差异的一致性,采用基于 Euclidean 指数的非度量多维尺度分析(NMDS)。不同管理措施和生境间样地包含的物种组成信息的差异程度,通过点与点间的距离体现,距离越远,差异越大。压力指数 stress 小于 0.2 的结果都是可接受的^[19],NMDS 在 PAST 软件进行。

2 结果

2.1 研究区域蜘蛛及蜂类组成情况

三种方法共捕获节肢动物 40067 头,主要分属 9 个目,其中挂盆陷阱法捕获 22502 头,地表陷阱杯法 13527 头,扫网法 4038 头。蜘蛛总计捕获 8660 头(含幼体),分属于 22 科,其中成年蜘蛛 5294 头,分属于 87 种。其中常见科为狼蛛科(Lycosidae)(5170 头,占 59.7%),皿蛛科(Linyphiidae)(1226 头,占 14.2%),肖蛸科(Tetragnathidae)(946 头,占 10.2%)。优势物种为沟渠豹蛛(*Pardosa laura*)(1031 头,11.7%);另有 48 种个体数均小于 10 头。有机管理和常规管理样地捕获优势物种见表 1,另有 24 头(分属 15 种)仅出现在常规管理样地中,有 92 只(分属 24 种)仅出现在有机管理样地中。

挂盆法共收获蜂类 20 科 68 种 2387 只,优势科为隧蜂科(Halictidae)(1465 只,占 61.4%),其中优势物种为裁切淡脉隧蜂(*Lasioglossum scitulum*)(1189 只,占 49.8%)。有机管理样地和常规管理样地捕获优势物种见表 1,另有 33 只(分属 11 种)仅出现在常规管理样地中,有 94 只(分属 30 种)仅出现在有机管理样地中。

2.2 不同分类级别指数的相关性分析

基于节肢动物的目级数与蜘蛛的物种数显著相关($r=0.32, P<0.01$),线性回归拟合的 $R^2=0.10$ (图 1);蜘蛛科级数与物种数的相关性更密切($r=0.79, P<0.01$), $R^2=0.63$;同时蜘蛛的个体数与物种数间有显著相关性($r=0.69, P<0.01$), $R^2=0.48$ (图 2)。

根据挂盆法目级数、蜂类科级数和物种水平下的物种数的相关性分析可知,节肢动物目级数与蜂类的物种数有极显著相关性($r=0.53, P<0.01$), $R^2=0.28$;蜂类科级数与物种数有极显著的相关性($r=0.95, P<0.01$), $R^2=0.89$ (图 3)。同时蜂类个体数的与物种数有极显著相关性($r=0.84, P<0.01$), $R^2=0.71$ (图 4)。

表 1 蜘蛛和蜂类优势种个体数
Table 1 Individuals of dominant species in spider and bee community

物种名 Name of species	有机管理 Organic management	常规管理 Conventional management	合计 Total
狼蛛科 Lycosidae			
沟渠豹蛛 <i>Pardosa laura</i>	659	354	1013
拟水狼蛛 <i>Piratula piratoides</i>	270	156	426
拟环纹豹蛛 <i>Pardosa pseudoannulata</i>	145	329	474
肖蛸科 Tetragnathidae			
华丽肖蛸 <i>Tetragnatha nitens</i>	53	224	277
皿蛛科 Linyphiidae			
隆背微蛛 <i>Erigone prominens</i>	111	87	198
食虫沟瘤蛛 <i>Ummeliata insecticeps</i>	113	88	201
跳蛛科 Salticidae			0
白斑猎蛛 <i>Evarcha albaria</i>	277	130	407
蟹蛛科 Thomisidae			0
三突花蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	232	125	357
隧蜂科 Halictidae			
裁切淡脉隧蜂 <i>Lasioglossum scitulum</i>	984	205	1189
褐足淡脉隧蜂 <i>Ctenonomia vagans</i>	177	60	237
胡蜂科 Vespidae			
角马蜂 <i>Polistes antennalis</i>	176	48	224
方头泥蜂科 Crabronidae			
连续切方头泥蜂 <i>Ectemnius continuus</i>	87	3	90
黑小唇泥蜂 <i>Sphex nigellus</i>	18	54	72
黄柄壁泥蜂 <i>Sceliphron madraspatanum</i>	3	45	48

2.3 不同分类级别指数在不同管理措施和生境间差异的显著性比较

蜜蜂和蜘蛛数据的双因素方差分析都表明,目级数和科级数在不同管理措施之间的差异和基于物种水平的物种数结果一致,都是有机管理显著高于常规管理(表 2)。在不同生境间的显著性差异上,基于蜘蛛和蜂类科级数的结果和物种数的结果比基于节肢动物目级数的结果更一致:就蜘蛛而言,在物种水平上,果园和农田边界的物种数显著高于蔬菜大棚,其他生境间不存在显著性差异。在科级水平上,也是果园和农田边界的科级数显著高于蔬菜大棚,同时果园和农田边界还显著高于水稻田埂。而在目级水平上,果园显著高于蔬菜大棚,同时还显著高于水稻田埂和露天农田;就蜂类而言,在物种水平上,蔬菜大棚物种数显著低于其余四种生境,其余四种生境间物种数无显著性差异。在科级水平上,与物种数的结果一致。在目级水平上,水稻田埂的目级数显著高于其余四种生境,蔬菜大棚的物种数显著低于露天农田与农田边界。

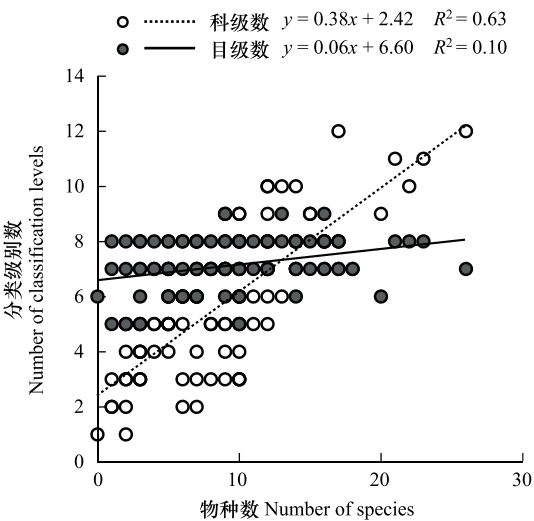


图 1 基于节肢动物目级数、蜘蛛科级数和蜘蛛物种数的回归拟合

Fig.1 Linear regression fitting between species richness and the number of families within Araneaea and orders levels within Arthropoda

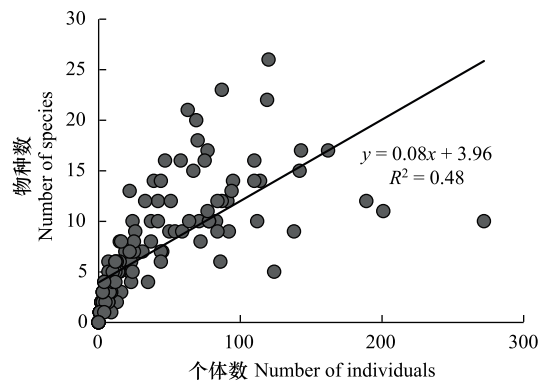


图2 基于蜘蛛目个体数及物种数的回归拟合

Fig.2 Linear regression fitting between number of individuals and species richness within Araneaea

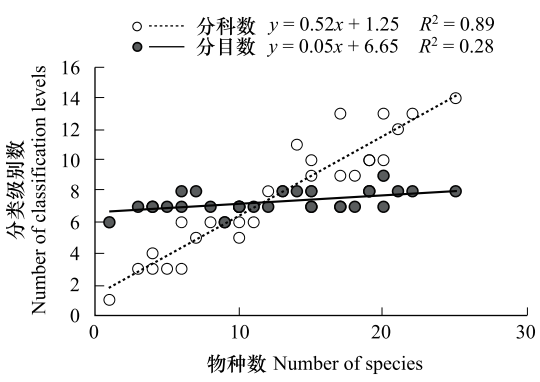


图3 基于目级数、蜂类科级数与物种数线性回归拟合

Fig.3 Linear regression fitting between the order levels of Arthropoda, the number of families and species richness within Apoidea

同时,基于指示类群的个体数在不同管理措施之间的差异和物种数结果也一致,有机管理显著高于常规管理。在不同生境间的显著性差异上,基于蜘蛛和蜂类个体数的结果与物种数结果的一致性介于科级水平和目级水平的结果之间(表2)。就蜘蛛而言,在个体数上,果园数显著高于蔬菜大棚、露天农田与水稻田埂;就蜂类而言,个体水平的结果与物种水平的结果一致。

2.4 不同管理措施和生境间不同分类级别数据的非度量多维尺度分析

NMDS 分析表明,以蜘蛛为指示生物,在目级、科级与物种水平下,从样地分布的相似性上,科级和物种水平的数据结果比较相似。由于不同管理措施和不同生境的常见目级都类似,所有样地都聚集在一起,因此目

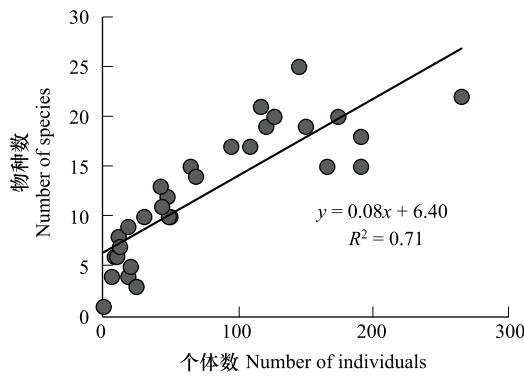


图4 基于蜂类物种水平的个体数及物种数的线性回归拟合

Fig.4 Linear regression fitting between number of individuals and species richness within Apoidea

表2 不同分类级别多样性指数在不同管理措施和生境间的差异显著性检验

Table 2 The statistical differences of diversity index based on different classified level among different management measures and habitats									
指示类群 Indicator group	鉴定水平 Identical level	指数 Index	不同管理措施: Different management measures		不同生境: Different habitats				
			O	C	DC	GY	LC	NB	SD
节肢动物门 Arthropoda	目级	目级数	7.56±0.24A	6.69±0.25B	6.67±0.41b	7.28±0.40a	7.39±0.38b	7.5±0.39ab	6.78±0.42b
	目级 (仅挂盆法)	目级数	7.67±0.35A	7.00±0.33B	7.00±0.56c	7.67±0.50bc	7.33±0.72b	7.50±0.52b	7.17±0.45a
蜘蛛 Spiders	物种	物种数	8.23±0.46A	7.00±0.40B	5.58±0.86bc	8.08±1.01a	6.97±0.72ab	8.50±1.02a	6.93±0.76ab
	科级	科级数	5.62±0.28A	4.89±0.27B	4.46±0.66c	5.39±0.62ab	4.23±0.45bc	6.17±0.72a	4.73±0.49c
	蜘蛛目	个体数	197.80±4.04A	140.87±3.13B	122.33±5.30b	236.00±7.43a	143.17±4.00b	191.67±4.80ab	153.50±4.77b
蜂类 Bees	物种	物种数	15.93±1.14A	9.13±0.92B	4.83±1.15b	16.67±1.40a	15.33±1.58a	13.17±1.87a	12.67±1.80a
	科级	科级数	9.33±0.82A	6.07±0.76B	3.50±0.94b	9.67±0.96a	10.17±1.24a	8.00±1.39a	7.17±1.15a
	膜翅目 (蚊科除外)	个体数	132.90±3.90A	37.10±2.30B	11.17±2.00b	118.00±6.55a	117.50±6.00a	94.17±5.81a	84.17±6.04a

注:O:有机管理 organic management;C:常规管理 conventional management;DC:蔬菜大棚 vegetable greenhouse;GY:果园 orchard;LC:露天菜地 open-air field;NB:农田边界 field margin;SD:稻田田埂 paddy ridge;A、B 代表在有机和常规管理间是否存在显著性差异;a b c d 代表在不同生境间差异的显著性水平(P<0.05)

级数据在不同管理措施和生境间区分不开(图5)。对于科级和物种水平数据,虽然不同管理措施下的样地总的区分度不明显,但是对于稻田田埂、果园和农田边界这三种生境,有机和常规的样地明显分开(图6,图7),说明有机管理下三种生境的蜘蛛种类组成明显不同于常规管理样地。有机和常规管理下露天菜地的蜘蛛组成在科级数据和物种级别数据都聚集在一起。仅蔬菜大棚这种生境,在科级水平下,有机管理和常规的样地相互分开(图6),而在物种水平下,两种管理措施下的样地又混合在一起(图7)。

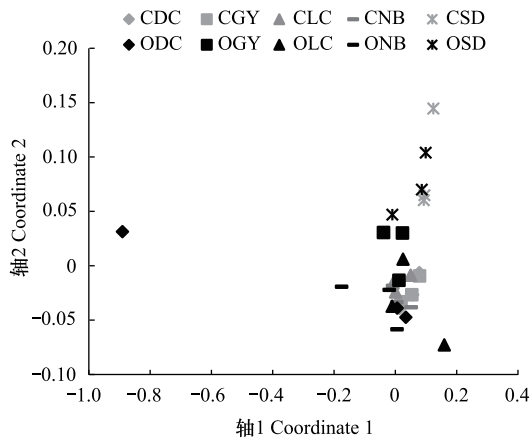


图5 有机管理和常规管理下不同生境类型节肢动物目级水平 (stress = 0.16) 数据的非度量多维尺度分析 (NMDS)

Fig.5 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of arthropod individuals at the order level (stress = 0.16) in different habitats under organic and conventional management practices

O: 有机管理 organic management; C: 常规管理 conventional management; DC: 蔬菜大棚 vegetable greenhouse; GY: 果园 orchard; LC: 露天菜地 open-air field; NB: 农田边界 field margin; SD: 稻田田埂 paddy ridge

以蜂类为指示生物的结果中,以目级、科级、物种水平下的分析结果上科级和物种水平的数据结果更一致。常规管理水平下样地更为集中,说明有机管理水平下不同样地蜂类种类组成差异更大,但是整体上都无法区分有机和常规之间的蜂类组成差异(图8、9、10)。针对不同生境在两种管理措施下的差异,三个级别下,农田边界和稻田田埂在不同管理措施间都能区分开。目级分类水平下,果园和露天菜地的样地在有机和常规管理下都无法区分开,而蔬菜大棚在两种管理措施下能级别区分开(如图8);科级和物种级分类水平下结果正好相反,果园和露天菜地能区分开,蔬菜大棚不能区分开(图9、10)。

3 讨论

与刘云慧等采用步甲类群分科数与物种数反映的结果类似,鞘翅目分科水平上及步甲科分种水平上多样性数据反映的结果基本相同^[10],我们选取的节肢动物

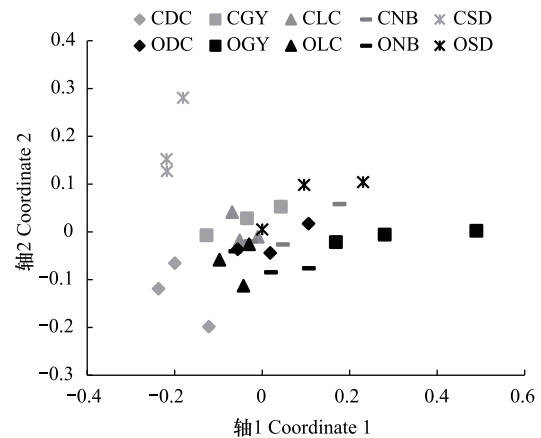


图6 有机管理和常规管理下不同生境类型蜘蛛科级水平 (stress = 0.087) 数据的非度量多维尺度分析 (NMDS)

Fig.6 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of arthropod individuals at the family level (stress = 0.087) in different habitats under organic and conventional management practices

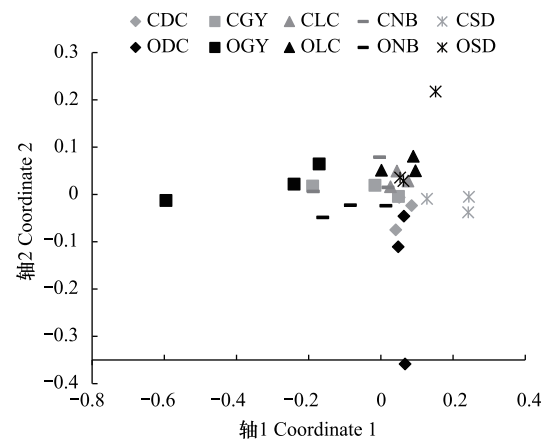


图7 有机管理和常规管理下不同生境类型蜘蛛物种水平 (stress = 0.10) 数据的非度量多维尺度分析 (NMDS)

Fig.7 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of arthropod individuals at the number of spiders (stress = 0.10) in different habitats under organic and conventional management practices

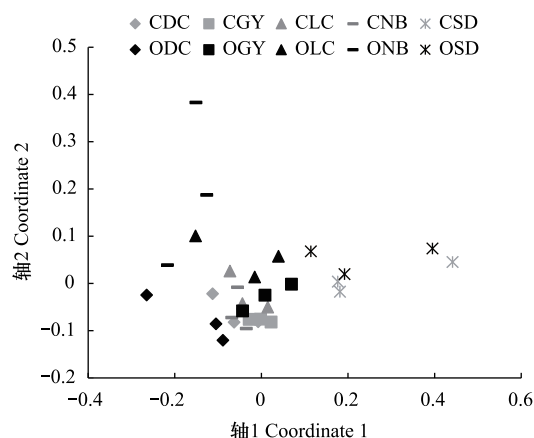


图8 有机管理和常规管理下农田不同生境类型挂盆法节肢动物目级水平 (stress = 0.085) 数据非度量多维尺度分析 (NMDS)

Fig.8 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of arthropod individuals at the order level (stress = 0.085) in different habitats under organic and conventional management practices by coloured pan traps

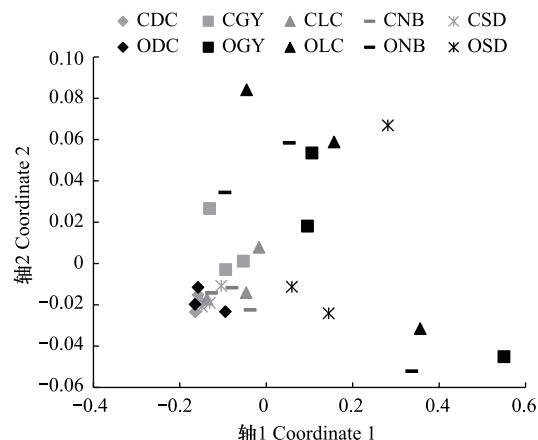


图9 有机管理和常规管理下农田不同生境类型挂盆法蜂类科级水平 (stress = 0.029) 数据非度量多维尺度分析 (NMDS)

Fig.9 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of arthropod individuals at the family level (stress = 0.029) in different habitats under organic and conventional management practices by coloured pan traps

类群的蜘蛛和蜂类在不同分类水平下的相关性从大到小分别为科级、个体数、目级,其中科级数和个体数与物种数的相关性系数都大于0.7。在Dormann等的研究中指出,两个变量相关系数0.7以上,这两个变量共线性会很强烈,因此相互之间可以直接替代^[20]。全球的尺度上,Zou等也发现,在各种不同生物类群中,尤其是在节肢动物类群中,分科数与物种数之间具有较好的一致性,因此在研究中为节省鉴定时间与成本,可以用分科数来替代物种数^[21]。本研究中,双因素方差分析表明蜂类和蜘蛛的科级数和个体数在不同管理措施和生境间的差异和物种数结果基本一致,均可较为真实地反映有机农业和低集约化生境类型具有更高的生物多样性的普遍结论。NMDS结果也显示科级的数据和物种水平的数据结果相似最大,而目级的相似性相对更低。可能的原因包括:(1)在更高的分类等级(如目级)上进行的鉴定工作虽然既容易又快速,但是由于更高的分类级别并不是自然单位,而是为促进信息系统分类的人为分类级别,故所得结果可能无法更好地反映物种丰富度的指示结果^[21]。同时,农田生物类群相对于自然生境更为单一,常见的目级类群数量有限,因此在不同管理措施和生境间的差异性结果更不明显。(2)在较低的分类等级(例如属)的数量结果可能会对于物种多样性带来更有力的说明,但鉴定到该水平往往也是耗时且具有困难的^[22-24]。因此,科级水平的数据可能是反映物种水平数据时较好的折中。(3)在两类节肢动物的统计分析过程中,个体数与物种数之间也有较强的正相关性,从概率上讲,捕获到的个体越多,个体属于不同物种的概率也就越大。故在进行关于生物多样性评估的工作中,需要快速获得基于大量蜘蛛和蜂类物种数据的结果时,可通过直接统计其科级数或个体数量来指示物

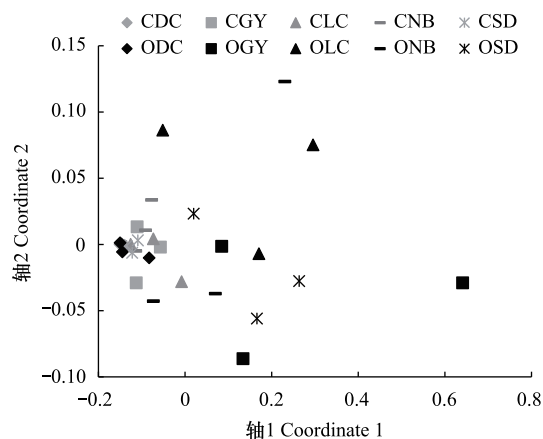


图10 有机管理和常规管理下农田不同生境类型挂盆法蜂类物种水平 (stress = 0.042) 数据非度量多维尺度分析 (NMDS)

Fig.10 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) of arthropod individuals at the number of bees (stress = 0.042) in different habitats under organic and conventional management practices by coloured pan traps

种数,但前提是不同样地的取样强度,包括取样范围、取样方法、取样时间和取样周期等是一致的。

此外本研究显示,不同分类水平指数与物种数相比较所反映的不同管理措施和生境间的多样性变化趋势基本类似,其中有机管理水平显著高于常规水平,蔬菜大棚内生物多样性最低。在不同管理措施间的生物多样性差异结果和以前的研究一致,许多研究都表明,常规管理田块由于化肥农药等大量使用,未施农药的有机田块中具有更高的植物多样性以及植食性节肢动物多样性,因而更高的营养级类群如蜘蛛等捕食者可以获得充足的猎物资源,从而增加捕食性节肢动物的多样性^[25-27]。在不同生境间,一般生境的植物结构复杂、覆盖度高、生境异质性高、微气候稳定都有利于田间动物群落的建立及其个体的存活^[25]。与受人为干扰较多的蔬菜大棚和农田内部相比,农田边界、水稻田埂和果园的植被结构更加丰富和复杂,且农田边界和水稻田埂受到的人为干扰较少,属于半自然生境类型,可以为农田节肢动物提供栖息地、避难所、食物资源和迁移廊道,因此它们的生物多样性更高。

物种丰富度(即物种数)是物种多样性测度中操作简便且指示效果明显的一个 α 多样性指数,但也只是衡量物种多样性的一方面。衡量 α 多样性的指数还包括多度(也就是个体数)、Shannon 指数、Simpson 指数、均匀度指数、Fishers' α 等^[29-30],它们分别反映了生物多样性不同方面的信息,有各自的适用条件。考虑目级、科级信息的多样性指数也是必要的。因此,衡量生物多样性时,采用多个生物类群、多个分类级别和多个多样性指数都是有必要的,特别是对于天敌和传粉生物,其个体数量关系到生态服务功能的强弱,在进行生物多样性评价时更应给予考虑。

本文的前提是把物种数看作衡量生物多样性高低的最佳指标,但是生物多样性包括遗传、物种和生态系统,乃至景观多样性,因此物种数不能反映生物多样性的全部信息。并且,此处选择的物种数只是常用的两类生物类群(蜘蛛和蜂类)的物种数,其他生物类群,如步甲,蝴蝶,鸟类,植物等的物种数高低并不一定和蜘蛛、蜂类的物种数保持一致性^[31]。如在欧洲大尺度的研究中,就发现仅用一个指示类群的高低并不能很好地衡量其他生物类群的多样性状况^[32],在本研究中,蜘蛛和蜂类对于不同生境间的响应也存在一定的差异。由于每个类群都具有独特的生态行为特征,因而对于环境的响应都有其特异性^[33-34]。因此,同时采取多个类群来综合评价生物多样性的高低具有更好的代表性^[35]。

4 结论

在农田节肢动物不同分类级别的指示效果中,节肢动物分目或指示类群分科数据的指示结果与物种级别数据的指示结果基本一致,故可以在一定程度上采用较高层次分类的数据——其中科级水平的数据作为首选,或直接统计指示类群个体数,以快速获取数据,减少鉴定难度并提高工作效率。如果需要更细致、准确的研究,深入进行生物多样性的编目与评估等,则需要更仔细鉴定的工作,把标本鉴定到物种水平,乃至不同功能群。同时,采用多个指示类群,多个多样性指数综合评价等方法能更为全面地反映生物多样性的整体信息。

致谢:西南大学生命科学院王露雨副教授和云南红河学院张睿副教授分别对蜘蛛和蜂类进行鉴定,宁波市农产品质量安全管理总站金彬、张松柏,宁波市农业科学研究院任少鹏、金树权,宁波天胜“四不用”农牧场朱升海、华家宁、裘辰光、俞婉君、陈良才和梁东生协助田间取样,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] 吴国庆. 区域农业可持续发展的生态安全及其评价研究. 自然资源学报, 2001, 16(3): 227-233.
- [2] Green R E, Cornell S J, Scharlemann J P W, Balmford A. Farming and the fate of wild nature. Science, 2005, 307(5709): 550-555.
- [3] Tschamtké T, Clough Y, Wanger T C, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. Biological Conservation, 2012, 151(1): 53-59.
- [4] 杨伟光, 付怡. 农业生态环境质量的指标体系与评价方法. 环境保护, 1999, 27(2): 26-27.
- [5] 韩印, 戴漂漂, 李想, 宋潇, 李季, 刘云慧. 华北平原有机农业对夏季农田节肢动物多样性的影响. 生态与农村环境学报, 2015, 31(5): 697-703.

- [6] 段美春, 刘云慧, 王长柳, Jan C. Axmacher, 李良涛, 宇振荣. 坝上地区不同海拔农田和恢复半自然生境下尺蠖多样性. 应用生态学报, 2012, 23(3): 785-790.
- [7] 章家恩. 中国农业生物多样性及其保护. 农村生态环境, 1999(2): 36-40.
- [8] Benton T G, Vickery J A, Wilson J D. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18(4): 182-188.
- [9] 岳天祥. 生物多样性研究及其问题. 生态学报, 2001, 21(3): 462-467.
- [10] 刘云慧, 宇振荣, 王长柳, 李良涛, 常虹. 坝上地区农田和恢复生境地地表甲虫多样性. 生态学报, 2011, 31(2): 465-473.
- [11] 李正跃, M. A. 阿尔蒂尔瑞(M. A. Altieri), 朱有勇. 生物多样性与害虫综合治理. 北京: 科学出版社, 2009.
- [12] 施波, 姚凤奎, 陈少波, 尤民生. 陷阱法的改进及其在稻田蜘蛛取样中的应用. 应用昆虫学报, 2011, 48(3): 782-786.
- [13] Fahrig L, Girard J, Duro D, Pasher J, Smith A, Javorek S, King D, Lindsay K F, Mitchell S, Tischendorf L. Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 200: 219-234.
- [14] Duan M C, Hu W H, Liu Y H, Yu Z R, Li X, Wu P L, Zhang F, Shi H L, Baudry J. The influence of landscape alterations on changes in ground beetle (Carabidae) and spider (Araneae) functional groups between 1995 and 2013 in an urban fringe of China. Science of the Total Environment, 2019, 689: 516-525.
- [15] Rainio J, Niemelä J. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. Biodiversity and Conservation, 2003, 12(3): 487-506.
- [16] Hortal J, Araújo M B, Lobo J M. Testing the effectiveness of discrete and continuous environmental diversity as a surrogate for species diversity. Ecological Indicators, 2009, 9(1): 138-149.
- [17] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [18] 段美春, 覃如霞, 张宏斌, 陈宝雄, 金彬, 张松柏, 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.
- [19] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology, 1993, 18(1): 117-143.
- [20] Dormann C F, Elith J, Bacher S, Buchmann C, Carl G, Carré G, Marquéz J R G, Gruber B, Lafourcade B, Leitão P J, Münkemüller T, McClean C, Osborne P E, Reineking B, Schröder B, Skidmore A K, Zurell D, Lautenbach S. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. Ecography, 2013, 36(1): 27-46.
- [21] Zou Y, van der Werf W, Liu Y H, Axmacher J C. Predictability of species diversity by family diversity across global terrestrial animal taxa. Global Ecology and Biogeography, 2020, 29(4): 629-644.
- [22] Balmford A, Lyon A J E, Lang R M. Testing the higher-taxon approach to conservation planning in a megadiverse group: the macrofungi. Biological Conservation, 2000, 93(2): 209-217.
- [23] Cardoso P, Silva I, de Oliveira N G, Serrano A R M. Indicator taxa of spider (Araneae) diversity and their efficiency in conservation. Biological Conservation, 2004, 120(4): 517-524.
- [24] Pryke J S, Samways M J. Recovery of invertebrate diversity in a rehabilitated city landscape mosaic in the heart of a biodiversity hotspot. Landscape and Urban Planning, 2009, 93(1): 54-62.
- [25] Schmidt M H, Roschewitz I, Thies C, Tschamtké T. Differential effects of landscape and management on diversity and density of ground-dwelling farmland spiders. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(2): 281-287.
- [26] Castagnèrol B, Jactel H. Unraveling plant-animal diversity relationships: a meta-regression analysis. Ecology, 2012, 93(9): 2115-2124.
- [27] 孙玉芳, 陈宝雄, 金彬, 朱升海, 张松柏, 张宏斌, 李奎奎, 刘云慧, 段美春. 有机管理对不同农田生境草本植物 α 、 β 和 γ 多样性的影响. 中国生态农业学报: 中英文, 2019, 27(11): 1617-1625.
- [28] O'Sullivan C M, Gormally M J. A comparison of ground beetle (Carabidae: Coleoptera) communities in an organic and conventional potato crop. Biological Agriculture & Horticulture, 2002, 20(2): 99-110.
- [29] 马克平. 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, 1994, 2(3): 231-239.
- [30] 马克平, 刘玉明. 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, 1994, 2(4): 231-239.
- [31] Axmacher J C, Brehm G, Hemp A, Tünte H, Lyaruu H V M, Müller-Hohenstein K, Fiedler K. Determinants of diversity in afrotropical herbivorous insects (Lepidoptera: Geometridae): plant diversity, vegetation structure or abiotic factors? Journal of Biogeography, 2009, 36(2): 337-349.
- [32] Billeter R, Liira J, Bailey D, Bugter R, Arens P, Augenstein I, Aviron S, Baudry J, Bukacek R, Burel F, Cerny M, de Blust G, de Cock R, Diekötter T, Dietz H, Dirksen J, Dormann C, Durka W, Frenzel M, Hamersky R, Hendrickx F, Herzog F, Klotz S, Koolstra B, Lausch A, le Coeur D, Maelfait J P, Opdam P, Roubalova M, Schermann A, Schermann N, Schmidt T, Schweiger O, Smulders M J M, Speelmans M, Simova P, Verboom J, van Wingerden W K R E, Zobel M, Edwards P J. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. Journal of Applied Ecology, 2008, 45(1): 141-150.
- [33] Burel F, Butet A, Delettre Y R, de la Peña N M. Differential response of selected taxa to landscape context and agricultural intensification. Landscape and Urban Planning, 2004, 67(1/2/3/4): 195-204.
- [34] Duan M C, Liu Y H, Yu Z R, Li L T, Wang C L, Axmacher J C. Environmental factors acting at multiple scales determine assemblages of insects and plants in agricultural mountain landscapes of Northern China. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2016, 224: 86-94.
- [35] Duan M C, Liu Y H, Yu Z R, Baudry J, Li L T, Wang C L, Axmacher J C. Disentangling effects of abiotic factors and biotic interactions on cross-taxon congruence in species turnover patterns of plants, moths and beetles. Scientific Reports, 2016, 6: 23511.