

DOI: 10.5846/stxb201410192052

赵爽, 宋博, 侯笑云, 丁圣彦, 汤茜. 黄河下游农业景观中不同生境类型地表节肢动物优势类群. 生态学报, 2015, 35(13): 4398-4407.

Zhao S, Song B, Hou X Y, Ding S Y, Tang Q. Research of the dominant group of ground arthropods in the agro-landscape along the lower reaches of the Yellow River. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(13): 4398-4407.

黄河下游农业景观中不同生境类型地表节肢动物优势类群

赵 爽^{1,2}, 宋 博^{1,2}, 侯笑云^{1,2}, 丁圣彦^{1,2,3,*}, 汤 茜^{1,2}

1 教育部黄河中下游数字地理技术重点实验室, 开封 475004

2 河南大学环境与规划学院, 开封 475004

3 河南大学生态科学与技术研究所, 开封 475004

摘要:生物多样性是连接景观异质性与生态系统服务的桥梁。在区域尺度上,以指示类群代替地表节肢动物类群,可以有效的开展生物多样性的保护工作。但是,在黄河下游农业景观中,关于地表节肢动物指示类群的研究报道较少。以黄河下游农业景观中 4 种生境类型(农田、林地、树篱和沟渠)为研究样地,且在农田生境中划分不同尺度(尺度 1, 3.6 hm²、尺度 2, 14 hm²和尺度 3, 28 hm²),通过调查不同生境中地表节肢动物分布及其多样性,结合地表节肢动物优势类群的辨识,分析了优势类群和地表节肢动物多样性的相关性,确定了研究区内地表节肢动物多样性的指示类群。结果发现:研究区内地表节肢动物优势类群为膜翅目、鞘翅目和蜘蛛目。树篱和林地生境的地表节肢动物多样性指示类群是膜翅目,农田生境中地表节肢动物多样性指示类群是鞘翅目,沟渠生境中地表节肢动物多样性指示类群是蜘蛛目。农田生境中优势类群间无相关性($P > 0.05$);林地、沟渠和树篱生境中鞘翅目与蜘蛛目之间存在显著正相关($P < 0.01$);林地和沟渠生境中,鞘翅目与膜翅目之间存在正相关($P < 0.05$)。在农田生境中优势类群之间的相关性存在尺度依赖性,随着空间尺度的增大,相关性有一定的增强。在尺度 2 和尺度 3 上膜翅目和鞘翅目均存在正相关($P < 0.05$),并且随着尺度增加而呈上升趋势。研究表明,黄河下游农业景观中不同生境类型地表节肢动物多样性的指示类群差别较大,其中树篱和林地生境具有较高的相似性,而农田生境地表节肢动物优势类群相关性存在尺度依赖性。在黄河下游农业景观中,以优势类群多样性代替地表节肢动物类群的多样性,可以在条件不足、时间紧迫的情况下更加有效的开展生物多样性的保护工作。

关键词:农业景观;优势类群;多度;指示类群;生物多样性;黄河下游

Research of the dominant group of ground arthropods in the agro-landscape along the lower reaches of the Yellow River

ZHAO Shuang^{1,2}, SONG Bo^{1,2}, HOU Xiaoyun^{1,2}, DING Shengyan^{1,2,3,*}, TANG Qian^{1,2}

1 Key Laboratory of Geospatial Technology For the Middle and Lower Yellow River Regions, Ministry of Education, Kaifeng 475004, China

2 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China

3 Institute of Ecological Science and Technology, Henan University, Kaifeng 475004, China

Abstract: The protection of biodiversity is important for ecosystem service, but in most regions, biodiversity shows a trend of decline, and the reasons are not fully explained by available data, therefore many researchers have focused on the protection of the biodiversity. Arthropods are important components of terrestrial ecosystems, so both domestic and foreign researchers have been carrying out extensive research on the arthropods. Different semi-natural habitats are important for

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41371195,41071118)

收稿日期:2014-10-19; 修订日期:2015-03-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: syding@henu.edu.cn

biodiversity protection because of the formation of heterogeneity in agricultural landscape. Arthropods are hotspot in the indicator species research, accounting for 15% of the total indicator species. Due to that the biodiversity indicator can reflect biodiversity of the region and monitor the change of biodiversity, those indicators can be studied instead of whole community to understand the biodiversity when condition or time is limited. By comparing the dominant groups of ground arthropods across different habitats (hedgerow, woodland, farmland or ditch) and farmland spatial scales (3.6 hm², 14 hm² and 28 hm²), we tried to find the biodiversity indicator in the study area, and then we used the indicator groups instead of ground arthropods community to conduct biodiversity research. The data from the first scale was taken as the average abundance of the ground arthropods in farmland A and farmland B; the data from the second scales was taken as the abundance of the ground arthropods in farmland A and farmland B; the data from the third scales was taken as the sum abundance of the ground arthropods in farmland A and farmland B. Data was done with ln transformation and statistical analysis was conducted with SPSS. Pearson analysis in R was applied (if the assumption of normality was violated, we used Spearman rank correlation instead of Pearson) to analyze the correlations between dominant groups and ground arthropod community with coefficient of 95% confidence interval to compare different habitats and different scales. The results showed that the ground arthropod dominant groups in the study area were Hymenoptera, Coleoptera and Araneae. For both hedgerow habitat and woodland habitat, the indicator group was Hymenoptera, Coleoptera was for farmland habitat, and Araneae was for ditch habitat. The three dominant groups had no correlation between each other ($P > 0.05$) in farmland habitat. Coleoptera and Araneae had a significant positive correlation in woodland habitat, ditch habitat and hedgerow habitat ($P < 0.01$). In woodland habitat and ditch habitat, Coleoptera and Hymenoptera also had a positive correlation ($P < 0.05$). Hymenoptera and Coleoptera existed a positive correlation on the second scale and the third scale in farmland habitat ($P < 0.05$), and the correlation presented a tendency of increasing with the increase scale. The study has shown that the biodiversity indicator groups have a great difference among different habitats, but the hedgerow habitat and woodland habitat have high similarity, while in farmland habitat the dominant group correlation showed scale-dependent. Land use intensity has a significant effect on the ground arthropod community structure, the more human disturbance, the weaker correlation between the ground arthropods. Increasing semi-natural habitats in the agricultural landscape would contribute to the number of predatory arthropod, and improve the abundance of predatory arthropod conducive to protect biodiversity in agricultural landscape and the controlling of biological in the terrestrial ecosystem. Suggestion for further research in the study area is that we can make use of correlation between the species to build a food chain for the biodiversity protection and ecosystem service.

Key Words: agricultural landscape; dominant group; abundance; indicator group; biodiversity; lower reaches of the Yellow River

农业景观是半自然生境(如农田边界、林地、树篱等)和集约化农用地组成的景观镶嵌体^[1],是一个研究类群多度影响因素比较理想的区域^[2-3]。一些情况下,低集约化农业景观甚至较自然景观能够维持更高的生物多样性^[4],而生物多样性的存在对生态系统服务的形成和维持都很重要^[5],但是大部分地区的生物多样性呈现下降趋势^[6-8],且还没有充分的数据解释下降原因^[9-10],因此生物多样性的保护越来越受到重视^[11]。节肢动物是陆地生态系统重要的组成部分,国内外学者对不同生态系统的节肢动物进行了大量的研究^[12-14],在农业景观中的研究发现由于半自然生境的存在而形成的异质性农业景观,对于节肢动物多样性的保护具有重要意义^[15-17]。

Wolter 等指出,指示种的研究集中在草原生态系统和森林生态系统中,农业生态系统中的研究尚显薄弱^[18]。节肢动物是常用的指示类群,但不同生态系统的指示类群存在较大差异,如南太平洋岛屿的某些蝇类,可指示其授粉植物的多样性^[19];蝴蝶的时空分布特征可以反映不同的景观格局^[20];步甲对环境因素如温

度、湿度等十分敏感,可以作为环境指示生物^[21]。

生物多样性指示种是指一组分类单元,其多样性能够反映其他分类单元的多样性大小,用于估计特定地区分类单元的多样性以及监测多样性的变化^[22]。节肢动物是研究指示种的热点,占有指示种研究的 15%^[23]。在区域尺度上,以生物多样性指示种代替地表节肢动物类群,可以有效的开展生物多样性的保护工作。但是,在黄河下游农业景观中,关于利用优势类群监测不同生境类型地表节肢动物多样性的变化,报道较少。

由于一定程度上指示种的多样性可以反映整个地表节肢动物群落的多样性,因此在研究条件、时间有限的情况下可以利用指示种的多样性代替地表节肢动物群落进行生物多样性的研究。鉴于此,以黄河下游农业景观为研究区,分别在农田、林地、树篱和沟渠生境中设置样地,并在农田生境中设置不同的空间尺度,通过调查地表节肢动物类群数量特征及其多样性,从生境类型和尺度大小两方面,(1)分析不同生境类型样地中地表节肢动物优势类群组成与分布;(2)辨识不同生境中地表节肢动物生物多样性指示类群;(3)探讨不同生境中优势类群之间的相互关系;(4)研究农田生境中 3 个尺度上优势类群的相互关系,旨在通过指示类群的研究确定该区域不同生境和尺度上多样性指示类群,为该区域农业景观生物多样性的保护、管理及其合理利用提供依据。

1 研究区域概况

研究区位于河南省新乡市封丘县(34°53′—35°14′ N, 114°14′—114°46′ E, 海拔 65—72.5 m),是黄河下游典型的农业区,全国的商品粮基地县之一。该区域属于暖温带大陆性季风气候,年平均气温在 13.5—14.5 °C,年平均降水量 615.1 mm。土壤类型以潮土为主。地貌为黄河冲积平原,形态复杂,沙岗、平原、洼地兼有。近年来,随着人为干扰强度的增加,景观类型发生了较大的变化,地带性植被落叶阔叶林几无存在,取而代之的是大面积分布的农田(包括旱田、水田和设施农业等)^[24],面积约占全县总面积的 66.4%。林地多呈斑块状散布在农田中和居民点周边,以人工种植的杨树林为主;沟渠为旧的灌溉用渠,现多已干涸弃用或季节性存水;树篱多呈线状分布在道路与沟渠之间。人为干扰强度的大小为农田 > 树篱 > 沟渠 > 林地。

2 研究方法

2.1 样地设置与取样

在研究区选取了 1 个典型样带,按照农田、林地、树篱和沟渠 4 种生境类型分别设置 34 个调查样地(图 1)。每个样地中选取 5 个典型样方,其中农田生境设置农田 A 和农田 B 两块农田进行重复采样,每个样方之间间隔至少 10 m。并以农田采样点为核心进行尺度分析,以农田采样点所在的农田斑块面积的平均值(3.6 hm²)作为尺度 1,以农田采样点为中心包括四种生境类型在内的最小面积的最大值(14 hm²)作为尺度 2,由于在一个农田采样点附近设置农田 A 和农田 B 两块农田进行重复采样,所以尺度 3 设置为 28 hm²。

采用陷阱捕获法调查地表节肢动物。陷阱采用 PP 塑料杯(口径 7.8 cm,底径 6 cm,深 17.5 cm,容积 500 mL),将其埋入地表中,杯口与地表齐平,其中放置 150—200 mL 20%浓度乙二醇和 1 滴洗涤剂。取样时间为 2013 年 5 月,在野外布设 6 d 后收回,立即将各陷阱中捕获到的物种按对应样点编号放入含 75%酒精的 10 mL 带盖离心管中保存,并尽快在实验室进行鉴定分类。标本鉴定主要参照《中国土壤动物检索图鉴》、《昆虫分类学》等分类系统^[25-26]。

2.2 数据处理

用地表节肢动物的丰富度和多度来代表地表节肢动物的多样性,其中以样地内出现的物种数目来表示地表节肢动物丰富度,以样地内出现的物种个体数量来表示地表节肢动物多度。一般情况下多度与丰富度之间显著相关^[27],且在本研究中地表节肢动物多度与丰富度呈显著正相关($P < 0.05$),故采用地表节肢动物多度代表地表节肢动物多样性作为不同生境中相关性分析的数据。农田生境的尺度分析按照尺度 1 取农田采样

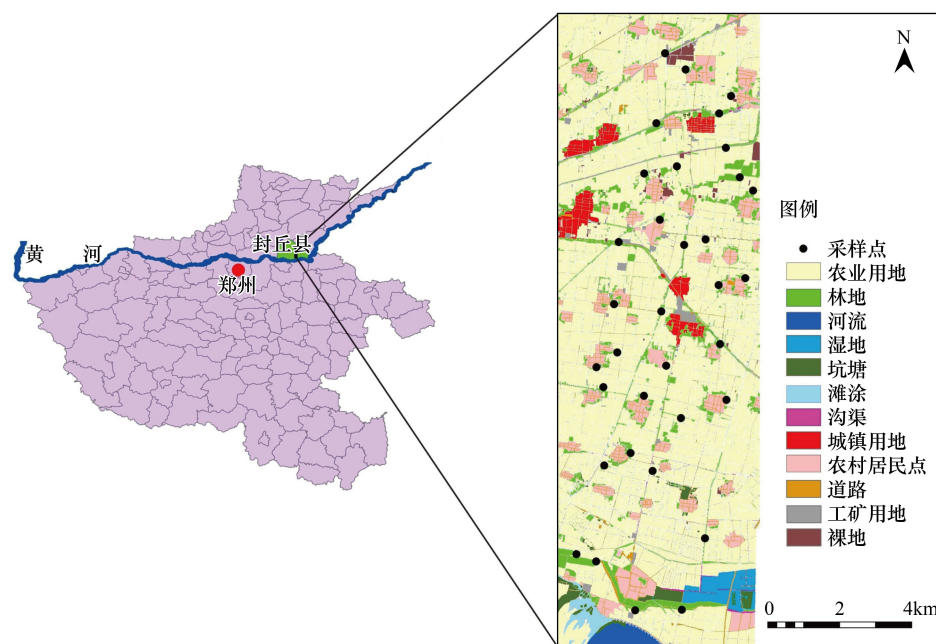


图1 研究区采样点示意图——以农田为例

Fig.1 Distribution map of farmland sampling sites in the study area

点 A 和农田采样点 B 地表节肢动物多度的平均值,尺度 2 取农田 A 和农田 B 地表节肢动物的多度值,尺度 3 取农田 A 和农田 B 地表节肢动物多度值的加和^[12]。

在 SPSS 中用 $\ln$ 函数置换统计数据,之后用 R 软件^[28]中 Pearson 分析地表节肢动物群落的相关性(用 Shapiro-Wilk 对数据进行检验,如果数据不符合正态分布则用 Spearman 相关排列代替 Pearson),使用 95% 置信系数的区间和相关性程度(P 值)来比较不同生境内和农田 3 个尺度上优势类群之间和优势类群与整个地表节肢动物群落的相关性大小。

3 结果与分析

3.1 地表节肢动物多度分布

2013 年 5 月对河南省新乡市封丘县典型农区的地表节肢动物进行取样调查,共捕获地表节肢动物 17 个目总计 11172 头,选取多度大于总捕获数 10% 的物种为优势类群进行研究,即膜翅目(Hymenoptera)(4432 头,占捕获总数的 39.67%)、鞘翅目(Coleoptera)(1664 头,占捕获总数的 14.89%)和蜘蛛目(Araneae)(1530 头,占捕获总数的 13.70%)(图 2)。

农田生境(包括农田 A 和农田 B)共捕获 2070 头,分属 14 目。常见类群为膜翅目(768 头,占有样地捕获总数的 37.11%),鞘翅目(430 头,占有样地捕获总数的 20.77%),蜘蛛目(341 头,占有样地捕获总数的 16.47%),双翅目(Diptera)(323 头,占有样地捕获总数的 15.61%),有 6 个目的个体数均小于 10 头。林地生境共捕获 2930 头,分属 17 目;常见类群为膜翅目(1216 头,占有样地捕获总数的 41.51%),鞘翅目(483 头,占有样地捕获总数的 16.48%),端足目(Amphipoda)(311 头,占有样地捕获总数的 10.61%),蜘蛛目(298 头,占有样地捕获总数的 10.17%);有 6 个目的个体数均小于 10 头。沟渠生境共捕获 3261 头,分属 16 目;常见类群为膜翅目(925 头,占有样地捕获总数的 28.37%),圆马陆目(Sphaerotheriida)(703 头,占有样地捕获总数的 21.56%),蜘蛛目(529 头,占有样地捕获总数的 16.22%),鞘翅目(449 头,占有样地捕获总数的 13.77%);有 4 个目的个体数均小于 10 头。树篱生境共捕获 2911 头,分属 12 目;常见类群为膜翅目(1523 头,占有样地捕获总数的 52.32%),蜘蛛目(362 头,占有样地捕获总数的 12.44%),鞘翅目(302 头,占有样地捕获总数的 10.37%);有 3 个目的个体数均小于 10 头。

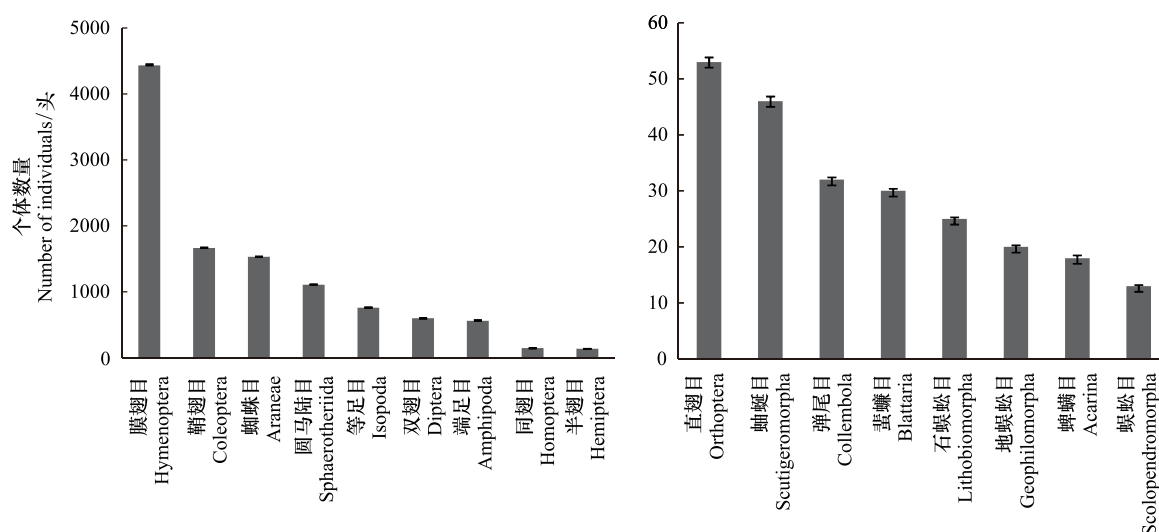


图2 地表节肢动物多度

Fig.2 Abundance of ground arthropod

从总体上来看,膜翅目、鞘翅目、蜘蛛目在每种生境类型中均为优势类群。膜翅目优势类群为切叶蚁亚科(Myrmicinae)和姬蜂总科(Ichneumonoidea),鞘翅目优势类群为步甲科(Carabidae),蜘蛛目优势类群为狼蛛科(Lycosidae)和平腹蛛科(Gnaphosidae)。

3.2 不同类型生境中地表节肢动物优势类群与多样性之间的相关性分析

不同生境中,地表节肢动物优势类群与地表节肢动物群落的相关性差别显著(图3)。膜翅目在每个类型的生境中,均与地表节肢动物群落存在相关性,尤其在树篱($r = 0.75$, $P < 0.001$)和林地生境($r = 0.81$, $P < 0.001$)中,膜翅目和地表节肢动物群落存在极显著正相关,可以作为树篱和林地生境中地表节肢动物多样性的指示类群。鞘翅目在农田生境中($r = 0.71$, $P < 0.001$)与地表节肢动物群落存在极显著正相关,可以作为农田生境中地表节肢动物多样性的指示类群。蜘蛛目在沟渠生境中($r = 0.72$, $P < 0.001$)与地表节肢动物群落存在极显著正相关,可以作为沟渠生境中地表节肢动物多样性的指示类群。

3.3 不同类型生境中优势类群之间的相关性分析

不同生境类型中,人类干扰强度不同,地表节肢动物群落优势类群相关性也不同。人为干扰强度的大小为农田 > 树篱 > 沟渠 > 林地。从总体上来看4种生境中优势类群之间相关性最显著的是林地生境(图4),3种地表节肢动物优势类群之间均存在正相关,尤其是鞘翅目和蜘蛛目,相关性显著($r = 0.57$, $P < 0.01$),膜翅目和鞘翅目($r = 0.42$, $P < 0.05$)、膜翅目和蜘蛛目($r = 0.40$, $P < 0.05$)也存在相关性。其次是树篱和沟渠生境,在树篱生境中,鞘翅目和蜘蛛目之间存在显著正相关($r = 0.59$, $P < 0.01$);在沟渠生境中,鞘翅目和蜘蛛目之间存在显著正相关($r = 0.58$, $P < 0.01$),膜翅目和鞘翅目也存在正相关($r = 0.41$, $P < 0.05$)。在农田生境中没有发现优势类群之间存在相关性。

3.4 农田生境中不同尺度上优势类群之间的相关性分析

地表节肢动物多样性具有一定的尺度依赖性,在不同尺度上地表节肢动物多样性和优势类群之间的相关性有不同程度的差异。在本研究中,尺度1上优势类群之间不存在相关性(图5);尺度2上膜翅目和鞘翅目存在正相关($r = 0.44$, $P < 0.05$),膜翅目和蜘蛛目、鞘翅目和蜘蛛目之间不存在相关性;尺度3上膜翅目和鞘翅目存在正相关($r = 0.51$, $P < 0.05$),且随着尺度的上升膜翅目和鞘翅目的相关性有一定的增加,但蜘蛛目与其他两个优势类群之间则不存在相关性。

4 讨论与结论

(1) 地表节肢动物多样性受到生境因素和景观因素的影响,在不同的研究尺度下,生境因素和景观因素

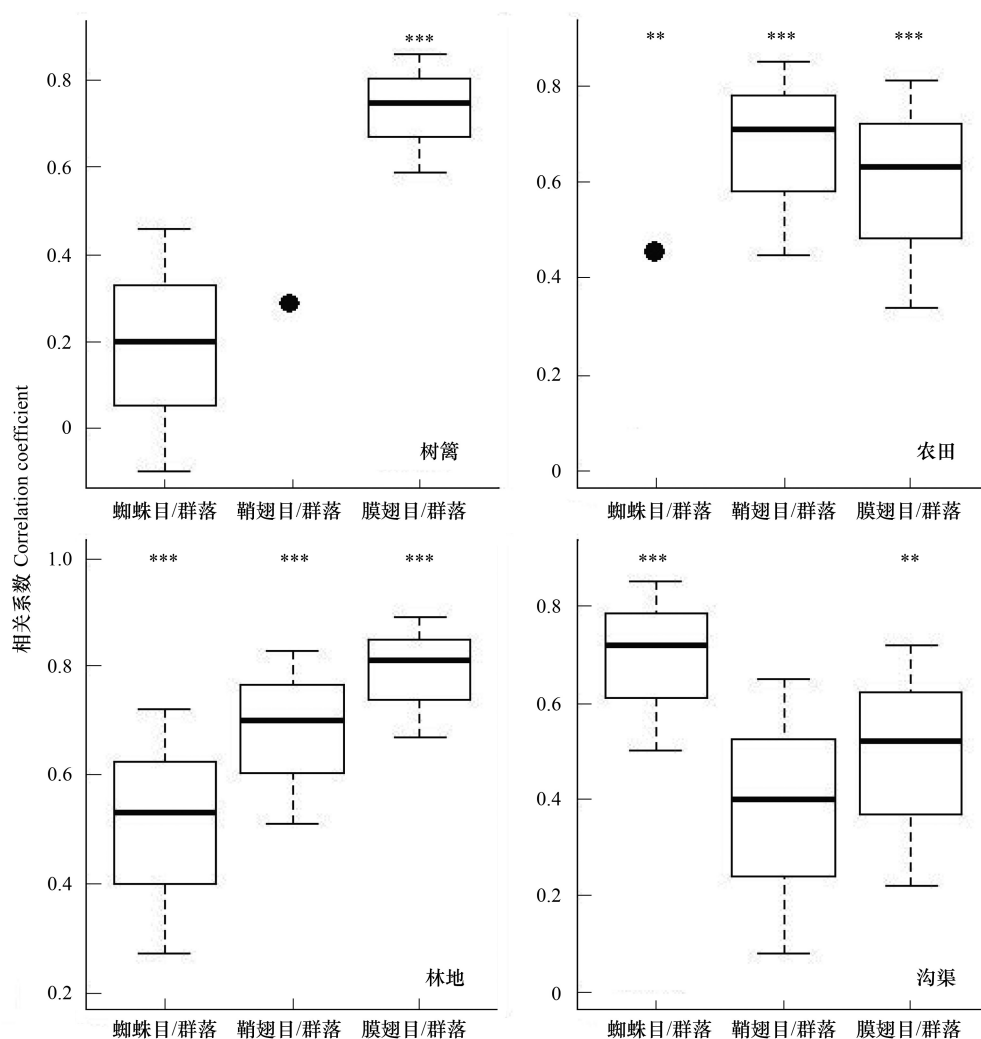


图3 不同类型生境中优势类群与地表节肢动物群落多度的相关性

Fig.3 The correlation analysis between dominant groups and ground arthropod community in different habitats (Pearson $\pm 95\%$ confidence intervals with boxplots)

盒形图代表 Pearson 相关结果, 实心圆代表 Spearman 相关结果, * < 0.05, ** < 0.01, *** < 0.001

对地表节肢动物多样性的影响不同。在尺度 1 上, 生境因素具有较强的影响, 如果生境因素以较为相同的方式影响地表节肢动物群落, 优势类群与群落之间的相关性可以预期依赖于生境类型, 随着研究尺度的上升, 景观异质性也随之增加, 而增加了的景观异质性会影响地表节肢动物群落内优势类群之间的相关性, 地表节肢动物优势类群之间相关性大小也可预期依赖于研究尺度的大小^[29]。

(2) 不同生境类型地表节肢动物多样性的指示类群差别较大。在林地和树篱生境中, 膜翅目与地表节肢动物多样性的相关程度最高, 且研究区内林地和树篱生境以杨树林为主, 组成较为单一, 易发生病虫害(以鳞翅目害虫和鞘翅目天牛科为主)^[30], 而膜翅目中的姬蜂总科大多直接寄生于林业害虫^[31], 是林地和树篱生境中重要的益虫, 对于研究区内林业的发展具有重要的意义, 同时, 膜翅目中的切叶蚁亚科对林地和树篱生境地表枯枝落叶的分解也起到重要作用, 因此膜翅目可以作为林地和树篱生境中地表节肢动物多样性的指示类群来加以保护。在农田生境中, 鞘翅目与地表节肢动物多样性相关程度最高, 且鞘翅目中的步甲是农田生境中的天敌动物, 能有效抑制农田生境中病虫害的爆发^[32], 对研究区内农业生产活动具有重要的意义, 因此鞘翅目可以作为农田生境中地表节肢动物多样性的指示类群来加以保护。在沟渠生境中, 蜘蛛目与地表节肢动物多样性的相关程度最高, 且蜘蛛目是捕食性的地表节肢动物, 对研究区内农业害虫的数量具有一定的控制作

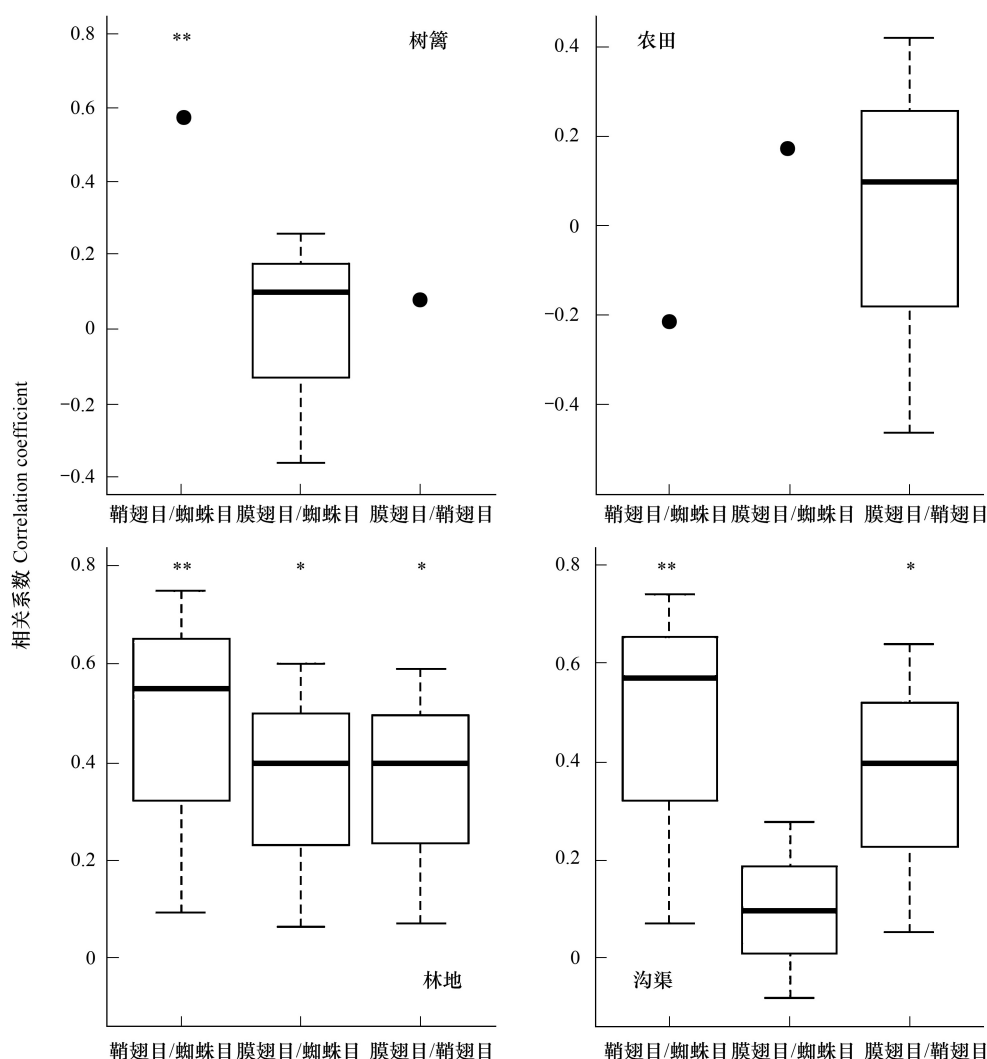


图4 不同类型生境中地表节肢动物优势类群之间多度的相关性

Fig.4 Dominant group correlation analysis between each other in different habitats

用^[33],因此可以作为沟渠生境中地表节肢动物多样性的指示类群来加以保护。

相关研究发现,地表节肢动物多样性受人类干扰强度的不同而存在显著差异^[34-35],且随着干扰强度的增加,边缘效应在远离干扰的方向出现^[36]。沟渠和林地生境相对道路的距离越来越远,受到的人为干扰的强度也越来越弱,地表节肢动物相关性也随之提高。在本研究中,林地生境内鞘翅目、蜘蛛目和膜翅目之间存在正相关,沟渠生境优势类群之间的相关性次之,树篱生境毗邻道路,人为干扰强度较高,除鞘翅目和蜘蛛目相关性显著以外,其余均不存在相关性,农田生境由于人类农业实践活动以及农药的使用对蜘蛛目和鞘翅目产生的不利影响^[37-39],导致农田生境中膜翅目、鞘翅目和蜘蛛目之间不存在相关性。

(3)地表节肢动物优势类群之间的相关性具有尺度效应。在农田生境的尺度1上,地表节肢动物优势类群之间均不存在相关性,这和农田生境中地表节肢动物优势类群之间不存在相关性的结论是一致的,即在尺度1上地表节肢动物优势类群之间的相关性受生境的影响显著,因此建议减少人为干扰等因素对当地生境影响的同时,增加农业景观中的半自然生境(林地,沟渠)的面积,有助于提高生物多样性。随着尺度的上升,生境和景观因素将会共同决定物种多度和群落组成^[40],因此膜翅目和鞘翅目之间开始呈现出相关性,且随着尺度的继续上升,之间的相关性也有了一定的提高。这和 Johan Ekroos 等^[15]在芬兰的研究结果是相似的, Johan Ekroos 等人通过对植物、鸟类和蝴蝶在 0.8、25 hm²和 50 hm²3 个不同的尺度进行相关性分析,发现蝴蝶

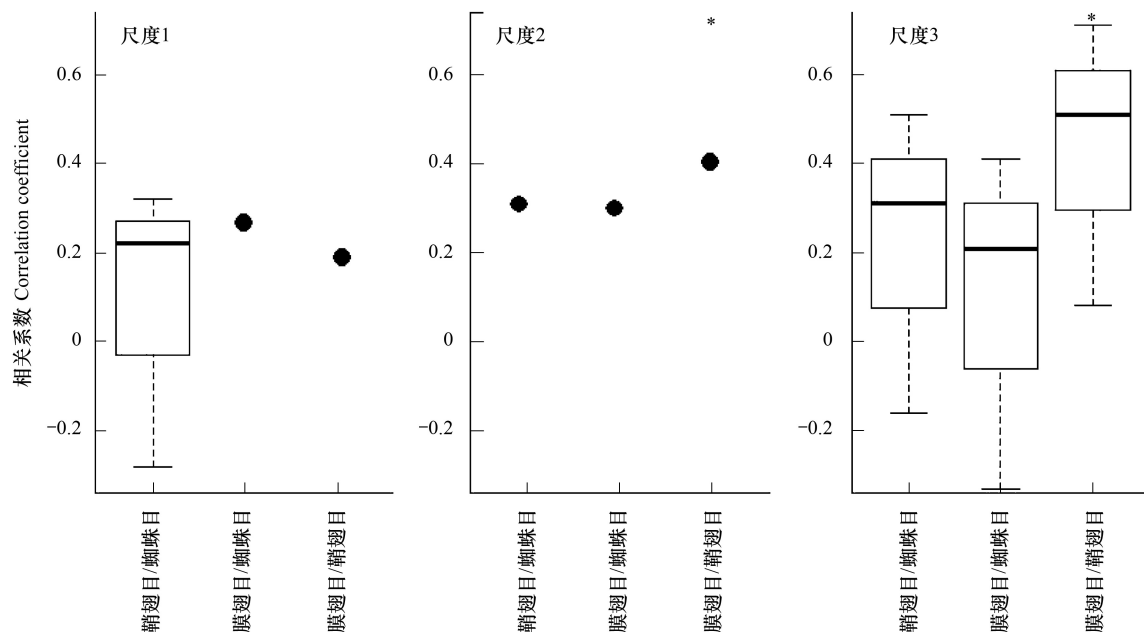


图 5 不同尺度上地表节肢动物优势类群之间多度的相关性

Fig.5 Dominant group correlation between each other in different scales

和植物之间随着尺度的上升相关性也在加强。由于尺度较小或农药的使用对蜘蛛目的影响过于严重,所以在农田生境的 3 个尺度上均未发现蜘蛛目与鞘翅目、蜘蛛目与膜翅目之间存在相关性。综上所述,在农业景观中,非农生境的增加有助于地表节肢动物优势类群之间相关性的加强,因此建议在对农业景观进行规划时,适当增加非农生境有利于生物多样性的保护。

土地利用方式对地表节肢动物的群落结构有明显影响,增加农业景观区域内半自然生境面积,提高景观异质性,有助于增加捕食性节肢动物生境数量,提高捕食性节肢动物的多度,对于农业景观中生物多样性的保护和陆生生态系统的生物防治工作均有一定的益处^[34],害虫的减少也有利于农业生产者农药使用量的降低,使农作物表面农药残留量随之降低,对农业生态系统服务特别是供给服务的良好实现有着重要的意义。同时,根据“中度干扰假说”,适度的干扰有利于地表节肢动物的生存与繁殖,这也从另外一个方面说明了要增加农业景观中的景观异质性。虽然不能一概而论不同研究类群之间的相关性^[18],但是应该增加农业景观中非农生境的组成异质性,调整不同生境之间的构型异质性。对于本文的研究区域——黄河下游地区,降低人为干扰强度是生物多样性保护的必由之路,尤其是在农田生境中,降低农药的使用率或者改变农药的施用方式和使用种类,尽量施用对捕食性的地表节肢动物杀伤性低的农药,提高捕食者的多度,以生物防治的方法减少农田中植食者的数量,提高农作物的产量,对生物多样性保护工作的进行与发展是很有帮助的。建议进一步的研究可以利用研究区内优势类群之间的相关性,以及优势类群与其他地表节肢动物之间捕食与被食的关系,试着构建一个研究区地表节肢动物的食物链,为生物多样性保护和生态系统服务提供更好的理论依据。

致谢:本文的数据采集工作得到了中国科学院封丘农业生态国家实验站的大力支持,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Bennett A F, Radford J Q, Haslem A. Properties of land mosaics: Implications for nature conservation in agricultural environments. *Biological Conservation*, 2006, 133(2): 250-264.
- [2] Kleijn D, Kohler F, Báldi A, Batáry P, Concepción E D, Clough Y, Diaz M, Gabriel D, Holzschuh A, Knop E, Kovács A, Marshall E J P, Tschamtké T, Verhulst J. On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of Biological Sciences*, 2009, 276(1658): 903-909.

- [3] Kleijn D, Rundlöf M, Scheper J, Smith H G, Tschamtk T. Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? *Trends in Ecology & Evolution*, 2011, 26(9): 474-481.
- [4] Tschamtk T, Klein A M, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity ecosystem service management. *Ecology Letters*, 2005, 8(8): 857-874.
- [5] M E A. Millennium Ecosystem Assessment. Washington: Island Press, 2005.
- [6] Butchart S H M, Walpole I M, Collen B, Strien A V, Scharlemann J P W, Almond R E A, Baillie J E M, Bomhard B, Brown C, Bruno J, Carpenter K E, Carr G M, Chanson J, Chenery A M, Csirke J, Davidson N C, Dentener F, Foster M, Galli A, Galloway J N, Genovesi P, Gregory R D, Hockings M, Kapos V, Lamarque J F, Leverington F, Loh J, McGeoch M A, McRae L, Minasyan A, Morcillo M H, Oldfield T E E, Pauly D, Quader S, Revenga C, Sauer J R, Skolnik B, Spear D, Stanwell-Smith D, Stuart S N, Symes A, Tierney M, Tyrrell T D, Vié J C, Watson R. Global biodiversity: Indicators of recent declines. *Science*, 2010, 328(5982): 1164-1168.
- [7] Pereira H M, Daily G C, Modeling biodiversity dynamics in countryside landscapes. *Ecology*, 2006, 87(8): 1877-1885.
- [8] Pimm S L, Raven P. Extinction by numbers. *Nature*, 2000, 403(6772): 843-845.
- [9] Jenkins M, Green R E, Madden J. The challenge of measuring global change in wild nature: are things getting better or worse? *Conservation Biology*, 2003, 17(1): 20-23.
- [10] Kerr J T, Sugar A, Packer L. Indicator taxa, rapid biodiversity assessment, and nestedness in an endangered ecosystem. *Conservation Biology*, 2000, 14(6): 1726-1734.
- [11] Rossi J P. Extrapolation and biodiversity indicators: handle with caution! *Ecological Indicators*, 2011, 11(5): 1490-1491.
- [12] 殷秀琴. 东北森林土壤动物研究. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [13] De Deyn G B, Raaijmakers C E, Zommer H R, Berg M P, de Ruiter P C, Verhoef H A, Bezemer T M, van der Putten W H. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature*, 2003, 422(6933): 711-713.
- [14] Robertson L N, Kettle B A, Simpson G B. The influence of tillage practices on soil macrofauna in a semi-arid agroecosystem in northeastern Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1994, 48(2): 149-156.
- [15] Ekroos J, Kuussaari M, Tiainen J, Heliölä J, Seimola T, Helenius J. Correlations in species richness between taxa depend on habitat, scale and landscape context. *Ecological Indicators*, 2013, 34: 528-535.
- [16] 吴玉红, 蔡青年, 林超文, 赵欣, 程序. 四川紫色土丘陵区不同土地利用方式下中型土壤动物群落结构. *生态学杂志*, 2009, 28(2): 277-282.
- [17] Kleijn D, Verbeek M. Factors affecting the species richness of arable field boundary vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 37(2): 256-266.
- [18] Wolters V, Bengtsson J, Zaitsev A S. Relationship among the species richness of different taxa. *Ecology*, 2006, 87(8): 1886-1895.
- [19] Cox P A, Elmqvist T, Pierson E D, Rainey W E. Flying foxes as strong indicator in the south Pacific island ecosystems: A conservation hypothesis. *Conservation Biology*, 1991, 5(4): 448-454.
- [20] Rossi J P, Halder I V. Towards indicators of butterfly biodiversity based on multiscale landscape description. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 452-458.
- [21] Niemelä J. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) and habitat fragmentation: a review. *European Journal of Entomology*, 2001, 98(2): 127-132.
- [22] McGeoch M A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews*, 1998, 73(2): 181-201.
- [23] McGeoch M A. Insects and bioindication: theory and progress// Stewart A J A, New T R, Lewis O T, eds. *Insect Conservation Biology*. London: CABI Publishing, 2007.
- [24] 卢训令, 梁国付, 汤茜, 丁圣彦, 李乾玺, 张晓青. 黄河下游平原农业景观中非农生境植物多样性. *生态学报*, 2014, 34(4): 789-797.
- [25] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [26] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [27] Naeem S, Wright J P. Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. *Ecology Letters*, 2003, 6(6): 567-579.
- [28] R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2012.
- [29] 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.
- [30] 吴小芹, 郑茂灿, 王焱, 叶建仁, 钱范俊. 上海杨树生态林病虫害发生状况及其综合治理. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2006, 30(3): 109-112.
- [31] 王小艺, 杨忠岐. 寄生性膜翅目昆虫毒素的生态机制及应用前景. *生态学报*, 2006, 26(4): 1251-1260.

- [32] 刘云慧, 宇振荣, 梁宏斌. 农田边界生物多样性保护功能的初步研究——以北京东北旺步甲群落多样性研究为例. 生态学杂志, 2002, 21(5): 69-73.
- [33] 侯有明, 庞雄飞, 梁广文, 尤民生. 化学杀虫剂对菜田节肢动物多样性的影响. 生态学报, 2001, 21(8): 1262-1268.
- [34] 吴东辉, 张柏, 陈鹏. 长春市不同土地利用条件下大型土壤动物群落结构与组成. 动物学报, 2006, 52(2): 279-287.
- [35] Zhang L M, Zhang X P, Cui W. Relationship between land use pattern and the structure and diversity of soil meso-micro arthropod community. *Ecotoxicology*, 2014, 23(4): 707-717.
- [36] 王立龙, 陆林. 旅游干扰对太平湖国家湿地公园土壤酶活性及大型土壤动物分布的影响. 湿地科学, 2013, 11(2): 212-218.
- [37] Marc P, Canard A. Maintaining spider biodiversity in agroecosystems as a tool in pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, 62(2/3): 229-235.
- [38] Marc P, Canard A, Ysnel F. Spiders (Araneae) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1999, 74(1/3): 229-273.
- [39] 王振中, 张友梅, 李忠武, 邢协加. 有机磷农药对土壤动物毒性的影响研究. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1663-1666.
- [40] Liu Y H, Rothenwöhrer C, Scherber C, Batúry P, Elek Z, Steckel J, Erasmí S, Tschamtké T, Westphal C. Functional beetle diversity in managed grasslands: effects of region, landscape context and land use intensity. *Landscape Ecology*, 2014, 29(3): 529-540.