

坝上地区农田及两种恢复生境中蜘蛛多样性与群落特征

胡文浩¹ 段美春² 那书豪¹ 张 锋³ 宇振荣^{1*}

(¹中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; ²西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400715; ³河北大学生命科学学院, 河北保定 071002)

摘要 蜘蛛是农田生态系统中重要的自然天敌,其生物多样性及群落特征直接决定了农田的害虫控制等生态系统服务功能质量。农田及其周边的恢复生境是蜘蛛重要的栖息地。本研究采用陷阱法,对河北省张家口市崇礼区 871、1360、1635 m 3 个海拔农田、自然恢复草地及人工修复林地的蜘蛛群落的物种组成、物种多样性和功能特征进行研究,分析不同恢复生境中蜘蛛群落特征。结果表明:不同生境蜘蛛的物种多样性指数差异明显,人工修复林地蜘蛛的多度为 124.3 只,显著高于自然恢复草地(70.1)及农田(38.6)的蜘蛛多度;人工修复林地(16.3)与自然恢复草地(21.4)的物种丰富度没有显著差别,但均显著高于农田(8.9);人工修复林地(2.04)及自然恢复草地(2.05)的 Shannon 多样性指数差异不显著,且均显著高于农田(1.55)。3 种生境的蜘蛛群落组成均具有显著差异;蜘蛛体长与蜘蛛捕猎类型呈正相关,大型蜘蛛倾向于通过捕猎获取食物;自然恢复草地与农田蜘蛛以游猎型为主,而人工修复林地倾向于拥有更多的结网型蜘蛛,高海拔地区的蜘蛛体积通常较小。自然恢复草地与人工修复林地均可以提升蜘蛛群落多样性,在区域生物多样性保护中起重要作用;不同生境蜘蛛群落组成出现了显著分化,即蜘蛛群落总体的功能特征发生改变和保留了部分生境特有种。2 种恢复生境蜘蛛多样性指标优于农田生境,且 2 种恢复生境物种组成存在差异,均具有保护特有种的功能,研究结果对农田及区域尺度蜘蛛生物多样性保护与恢复具有指导意义。

关键词 蜘蛛;生物多样性;生境异质性;生态修复

Spider diversity and community characteristics in cropland and two kinds of recovery habitats in Bashang area, China. HU Wen-hao¹, DUAN Mei-chun², NA Shu-hao¹, ZHANG Feng³, YU Zhen-rong^{1*} (¹College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; ²College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China; ³College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, Hebei, China).

Abstract: Spiders are important natural enemies in agricultural ecosystems. The biodiversity and community characteristics of spider directly determine the quality of ecosystem services such as pest control in cropland. Cropland and its surrounding recovery habitats are important for spiders. We used trap method to examine species composition, species diversity, and functional characteristics of spider communities at three altitudes (871, 1360 and 1635 m) and three habitats (cropland, natural recovery grassland, artificial restoration woodland) in Chongli District, Zhangjiakou, Hebei Province, China. The results showed that diversity index of different habitats was significantly different. The abundance of spiders in artificial restoration woodland was 124.3, which was significantly higher than that in natural recovery grassland (70.1) and cropland (38.6). Species richness of artificial restoration woodland (16.3) and natural recovery grassland (21.4) were not significantly different, but both were significantly higher than those of cropland (8.9). The Shannon diversity index of artificial restoration woodland (2.04) and natural recovery grassland (2.05) was not significantly different, and both were significantly higher than that of cropland (1.55). There were significant

differences in community composition among all three habitats. Spider body length was positively correlated with spider hunting types. Large spiders tended to get food by hunting. Natural recovery grassland and cropland spiders were dominated by safari, and artificial restoration woodland with more web-forming spiders. Spiders at higher altitude were generally small. Both natural recovery grassland and artificial restoration woodland could increase spider diversity and played important roles in regional biodiversity protection. Spider community composition differentiated in different habitats, with the overall functional characteristics of spider communities being changed and some habitats being retained. The index of spider diversity of the two recovery habitats was higher than that of cropland habitats, with differences in the species composition of the two recovery habitats, both of which had the function of protecting endemic species. Our results were useful for the protection and restoration of spider biodiversity on cropland and regional scales.

Key words: spider; biodiversity; habitat heterogeneity; ecological restoration.

坝上地区地形复杂,是我国华北北部地区重要的生态涵养区。但近年来随着人口的快速增长,城镇化和农业问题突出,不合理的耕作与资源利用方式导致农田生境破碎化,并带来了一系列的生态环境问题^[1]。近年来,我国高度重视坝上地区生态环境的修复与治理工作,并在该地区实施了一系列生态修复措施,包括退耕还林、荒山造林、小流域治理工程等。这些工程大都种植单一树种,并最终形成纯林结构的人工林地^[2]。与此同时,随着城镇化的推进,在广大的农村地区出现了大量的弃耕经自然恢复形成的草地。这两类恢复生境已经成为坝上地区主要的恢复生境类型^[3]。近年来,集约化的农业土地利用及其导致的栖息地破碎化造成了严重的生物多样性丧失与生态退化问题,这导致农田中大量依赖半自然生境的天敌无法适应现有环境,无法满足现代农业对于害虫控制的生态需求^[4-5]。而现有的2种恢复型生境,没有人类的过度干扰并具有良好的植被,则有可能成为天敌的“庇护所”^[6]。深入认识农业用地和恢复生境在生物多样性的保护与生态系统服务功能的重要作用与内在规律,是进行生态修复工程的先决条件。近年来,对坝上地区的恢复生境研究主要集中在社会经济领域^[7-8],对生态恢复过程关注较少,特别是缺乏对该区域生物多样性恢复过程的监测与评价。

蜘蛛是农业景观中重要的天敌,不仅在农田及恢复生境中广泛存在,且对环境组成变化响应敏感,是评估农业景观生物多样性与生态系统服务功能的重要指示物种^[9]。近年来,有研究从不同角度探讨了蜘蛛的迁移及群落动态规律,但对其功能特征研究较少^[10-11]。本研究选取河北省张家口市崇礼区由坝下至坝上地区的3个不同海拔村庄中具有代表性的农田与2种恢复性生境(自然恢复草地与人工

修复林地),研究不同海拔与生境类型下蜘蛛群落的生物多样性及物种组成、功能特征的差异,为该地区景观生态修复与生物多样性保护提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

河北省张家口市崇礼区(40°47' N, 114°17' E)地处河北省西北部,是华北平原至内蒙古高原的过渡地带,最低海拔 813 m,最高海拔 2134 m,具有较高的海拔落差。该区域地理环境特殊,从农业种植的角度看,该区域属典型的农牧交错带,种植作物既包含玉米、甘蓝、花菜等常规农作物与经济作物,也包含莜麦、胡麻、马铃薯等特色高原农作物与经济作物。试验区气候属温带亚干旱区,年均温 3.7 °C,年降水量 483.3 mm,主要集中在 7—9 月;土壤多属砂壤土、微碱性,透水透气性均较好,有机质含量较高。试验区域内人类活动与人为干扰较小。

1.2 试验设计

2018年5—9月,在该区选取了871、1360和1635 m 3个海拔的典型村庄进行蜘蛛生物多样性的监测(表1),在每个海拔梯度设置农田、自然恢复草地和人工修复林地3种生境,每种生境4个重复样地,共计36个。采用陷阱法对蜘蛛进行取样。每个样方为20 m×20 m的固定样方,在样方中央设置2个具有相同中心,边长分别为5和8 m的正方形,以这2个正方形的端点设置陷阱,一个样地内设置8个陷阱。为防止蜘蛛逃逸和标本腐烂,陷阱内部放有75%的乙醇溶液,并在陷阱上方设置防雨罩。为避免因陷阱颜色对蜘蛛产生诱集效应^[12],采用颜色、材质相同、规格相同的陷阱。陷阱杯为杯口7.9 cm、杯底5.2 cm、杯高12.2 cm的塑料杯,容积约360 mL。每月取一次样,每次取样为期一周。陷阱

表 1 研究区海拔及生境概况

Table 1 Altitude and general situation of habitats in the study areas

位置 Location	海拔 Altitude (m)	生境类型 Habitat type	主要物种 Main species
乌拉哈达村 Wulahada Village	871	农田 Cropland	玉米 <i>Zea mays</i>
		自然恢复草地 Natural recovery grassland	细叶藎草 <i>Carex duriusata</i> 、 杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>
		人工修复林地 Artificial restoration woodland	榆树 <i>Ulmus pumila</i>
白旗村 Baiqi Village	1360	农田 Cropland	芸苔属作物 <i>Brassica</i>
		自然恢复草地 Natural recovery grassland	细叶藎草 <i>Carex duriusata</i>
		人工修复林地 Artificial restoration woodland	华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>
十号村 Shihao Village	1635	农田 Cropland	马铃薯 <i>Solanum tuberosum</i> 、 蚕豆 <i>Vicia faba</i> 、莜麦 <i>Avena chinensis</i>
		自然恢复草地 Natural recovery grassland	细叶藎草 <i>Carex duriusata</i>
		人工修复林地 Artificial restoration woodland	华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>

放置一周后,按放置顺序依次取回,并将蜘蛛放置于 75% 的乙醇溶液中保存。蜘蛛标本只鉴定成年蜘蛛样本,鉴定至物种水平。

1.3 数据处理

各样地蜘蛛群落的物种丰富度为捕获蜘蛛的物种数量,多度为捕获蜘蛛的个体数量。并计算各样地蜘蛛群落的 Shannon 多样性指数(H):

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

式中: S 为物种数; P_i 为第 i 种动物多度占总体多度的比例。

采用双因素方差分析(two-way ANOVA)讨论不同海拔和生境下多样性指数的差异显著性,并通过 Turkey 法进行多重比较^[13]。

通过单因素 PERMANOVA 分析不同生境类型和海拔间物种组成差异显著性。检验过程基于 Bray-Curtis 相似性矩阵,通过 9999 次置换分析确定显著性,并采用相似百分比(SIMPER)指数寻找对群落变化具有较高贡献率($\geq 2\%$)的物种^[14]。

选取体长、捕猎方式和是否具备飞航能力作为衡量蜘蛛功能特征的指标(表 2),其中,蜘蛛体长及捕猎方式通过检索世界蜘蛛名录网站(<https://wsc.nmbe.ch/>)的方式获取,蜘蛛飞航能力通过相关文

表 2 蜘蛛的功能特征

Table 2 Spider functional traits

功能特征 Functional trait	类型 Type	单位/等级 Unit/class	标准 Standard
体长 Body size	连续型变量 Continuous variable	mm	以雌性蜘蛛的最大体长为准 The maximum body size of female individual
捕猎类型 Hunting type	二元型变量 Binary variable	0, 1	0=“结网型”(weber); 1=“捕猎型”(hunter)
飞航类型 Ballooning type	二元型变量 Binary variable	0, 1	0=“不具有飞航能力”(non-ballooning); 1=“具有飞航能力”(ballooning)

献^[15-17]获取。蜘蛛的体长体现蜘蛛的资源利用效率与蜘蛛群落内部的捕食情况^[18];捕猎方式体现蜘蛛的捕食策略及其捕捉的猎物种类^[19];飞航能力体现蜘蛛在碎片化的景观中进行长距离迁移的能力^[20]。通过计算群落功能加权平均值(CWM)^[21]来体现不同样地群落的功能特征。

采用排序的方法检验蜘蛛群落功能特征与生境类型及海拔的关系。首先对不同样地的功能特征 CWM 值进行非约束性排序;其次将试验条件纳入环境因子进行约束性排序。考虑到轴长为 0.3SD,适宜采用线性模型,因此采用主成分分析(PCA)及冗余分析(RDA)进行排序^[22]。

采用 R3.6.1 进行正态性检验、方差齐性检验与双因子方差分析、采用 R3.6.1 中 vegan 包进行 α 多样性指数计算,采用 PERMANOVA 检验、SIMPER 检验进行计算和检验;采用 FD 包进行 CWM 值计算;采用 Origin 2018 作图;采用 CANOCO 5 软件进行 PCA 及 RDA 分析。

2 结果与分析

2.1 蜘蛛种类和数量

试验期间,共捕获到 22 个科 145 个种,共计 2795 头蜘蛛。其中,优势科为狼蛛科(Lycosidae)、平腹蛛科(Gnaphosidae)、蟹蛛科(Thomisidae)和皿蛛科(Linyphiidae),分别占捕获蜘蛛物种数的 64.1%、9.4%、8.8% 和 7.4%。优势种为赫氏豹蛛(*Pardosa hedinii*)、亚东豹蛛(*Pardosa yadongensis*)、星豹蛛(*Pardosa astrigera*)、晨豹蛛(*Pardosa chionophila*)、鞍形花蟹蛛(*Xysticus ephippiatus*)和刃形斑皿蛛(*Lepthyphantes cultellifer*),共占据捕获蜘蛛个体数的 66.3%。捕获到最多的蜘蛛为赫氏豹蛛,共计 608 头,占捕获蜘蛛总数的 21.8%。

2.2 不同生境类型和海拔对蜘蛛多样性与功能特征的影响

由图1可以看出,在不同生境中,蜘蛛群落的物种丰富度、多度和 Shannon 多样性指数均存在显著差异。其中,农田物种丰富度(8.9)显著低于自然恢复草地(21.4)及人工修复林地(16.3),而后两者不存在显著差异;人工修复林地蜘蛛群落的多度(124.3只)显著高于农田(38.6)和自然恢复草地(70.1),农田和自然恢复草地蜘蛛群落的多度不存在显著差异;自然恢复草地(2.05)和人工修复林地(2.04)蜘蛛群落的 Shannon 多样性指数不存在显著差异,但均显著高于农田(1.55)。

海拔对蜘蛛群落的物种丰富度、多度和 Shannon 多样性指数没有显著影响,但海拔与生境的交互作用对物种丰富度的影响显著(表3)。

2.3 不同生境类型和海拔蜘蛛物种组成特征

PERMANOVA 与 SIMPER 检验结果显示,农田生境与自然恢复草地生境物种组成具有显著差异

($F=3.36, P<0.001$),其中豹蛛属的赫氏豹蛛、亚东豹蛛、晨豹蛛、星豹蛛,以及鞍型花蟹蛛的比例在自然恢复草地生境中较高,而田野豹蛛则在农田生境中比例较高;以上6个物种构成了农田与自然恢复草地生境之间55.6%的群落变异。农田生境与人工修复林地生境物种组成具有显著差异($F=2.68, P<0.001$),赫氏豹蛛、刃形斑皿蛛、鞍形花蟹蛛、蒙古田野蛛、塔克额角蛛和八齿苔蛛在人工修复林地生境中比例较高,而星豹蛛、亚东豹蛛、田野豹蛛和晨豹蛛在自然恢复草地生境中比例较高;以上10个种构成了农田与人工林之间56.1%的群落变异。自然恢复草地与人工修复林地生境物种组成具有显著差异($F=2.38, P=0.003$),其中赫氏豹蛛、晨豹蛛、亚东豹蛛、鞍型花蟹蛛在人工修复林地生境的比例相对较高,刃形斑皿蛛和蒙古田野蛛在农田生境中比例相对较高;以上7个种解释了自然恢复草地与人工修复林地生境之间53.1%的群落变异。SIMPER分析还表明,田野豹蛛是农田生境中的特有

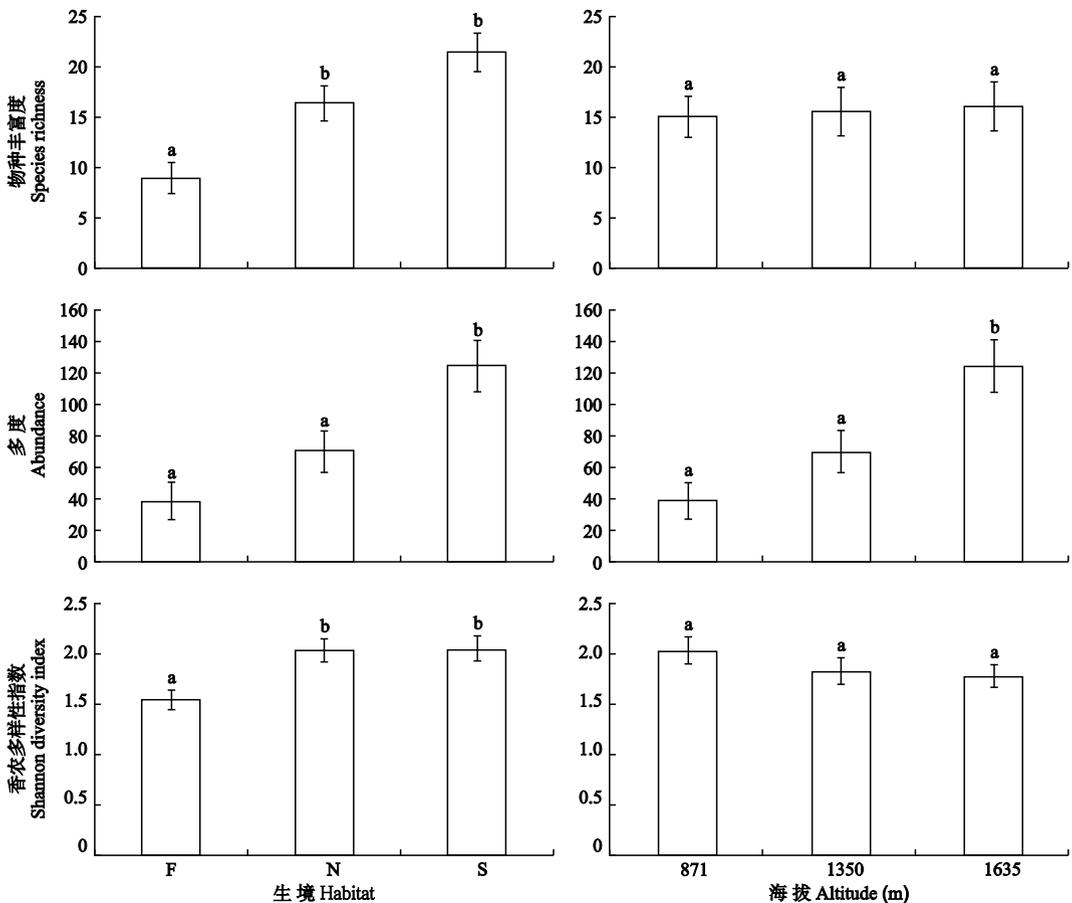


图1 不同海拔与生境类型蜘蛛的物种多样性

Fig.1 Spider diversity under different altitudes and habitat types of spiders.

F: 农田 Cropland; N: 人工修复林地 Artificial restoration woodland; S: 自然恢复草地 Natural recovery grassland. 不同字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different letters meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

表 3 海拔与生境类型对蜘蛛多样性的影响
Table 3 Effects of altitudes and habitat types on spider diversity

指数 Index	影响因子 Influence factor	平方和 Sum of squares	df	均方 Mean square	F	P
多度 Abundance	生境 Habitat	45060.222	2	22530.111	10.43	<0.001
	海拔 Altitude	7632.889	2	3816.444	1.77	0.190
	海拔×生境 Habitat×altitude	11569.944	4	2892.486	1.34	0.281
物种丰富度 Species richness	生境 Habitat	948.389	2	474.194	17.09	<0.001
	海拔 Altitude	7.056	2	3.528	0.13	0.881
	海拔×生境 Habitat×altitude	414.444	4	103.611	3.74	0.015
Shannon 多样性指数 Shannon diversity index	生境 Habitat	1.994	2	0.997	7.57	0.002
	海拔 Altitude	0.415	2	0.208	1.58	0.225
	海拔×生境 Habitat×altitude	0.831	4	0.208	1.58	0.209

种; 刃形斑皿蛛是人工修复林地生境中的特有种; 豹蛛属的赫氏豹蛛、亚东豹蛛、晨豹蛛、星豹蛛等物种, 为自然恢复草地生境的特有种。

海拔 870 m 处与 1360 m 处的物种组成差异不显著 ($F=1.41, P=0.142$), 而 870 m 处与 1635 m 处 ($F=2.09, P=0.013$), 以及 1360 m 与 1635 m 处 ($F=1.70, P=0.030$) 之间均存在显著差异。赫氏豹蛛、亚东豹蛛的比例在 1635 m 处较高, 而晨豹蛛、星豹蛛、蒙古田野蛛、田野豹蛛、鞍型花蟹蛛的比例在 870 m 处相对较高; 星豹蛛、鞍形花蟹蛛和晨豹蛛的比例在 1635 m 处相对较低, 而赫氏豹蛛、亚东豹蛛的比例在 1635 m 处相对较高。

2.4 蜘蛛群落功能特征对不同海拔及生境的响应

由图 2 可以看出, 主成分分析 (PCA) 中, 轴 1 能够解释 76.4% 的变量, 轴 1 及轴 2 共解释了 92% 的变量, 表明 PCA 法较好地拟合了功能特征之间的关系。蜘蛛体长的 CWM 值同蜘蛛捕猎类型贡献率呈正相关, 大型蜘蛛的捕猎方式以游猎型的居多, 而小型蜘蛛中结网型的比例相对较高。飞航类型和其余 2 个类型的关联程度不高, 表明蜘蛛是否通过飞航进行扩散与其体长和捕猎方式没有显著的相关性, 是一个相对独立的功能特征。

RDA 的显著性检验结果显示, 第 1 轴与所有轴的关系均显著, 说明模型成立。前 2 轴共计解释了 29.4% 的特征变量。高海拔条件下, 蜘蛛体长相对较小, 而飞航类型和捕猎方式则同海拔变化关系不大。从生境的角度看, 农田更倾向于拥有较大体长的蜘蛛, 蜘蛛群落整体更倾向于以游猎型为主, 具有更好的通过飞航进行扩散的能力; 自然恢复草地的响应规律同农田相似, 但自然恢复草地中蜘蛛群落平均体长可能比农田低, 且游猎型蜘蛛的比例更高, 而飞航能力相对接近; 人工修复林地的蜘蛛群落显

著不同于农田和自然恢复草地, 其蜘蛛体长较小, 更倾向于容纳更多结网型蜘蛛, 不倾向于通过飞航的方式进行扩散。总体上, 自然恢复草地和农田的蜘蛛群落功能特征整体较为接近, 而人工修复林地由于其较为特殊的环境条件, 区别较大。

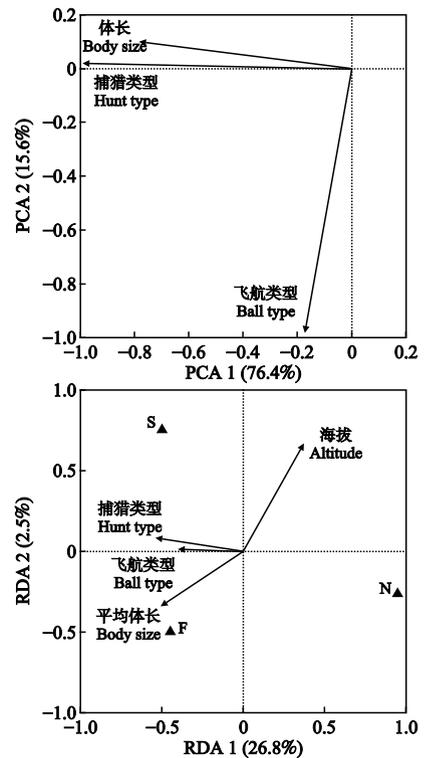


图 2 基于蜘蛛群落功能特征的主成分 (PCA) 和冗余分析 (RDA)

Fig.2 Principal component analysis (PCA) and redundancy analysis (RDA) on spider community functional traits.

3 讨论

本研究表明, 人工修复林地和自然恢复草地蜘蛛的物种库相对于农田有一定的差异, 出现了较多

特有种,即恢复生境相对于农田具有较高的物种丰富度;而在基于不同海拔村庄的区域尺度上,2种不同恢复生境中蜘蛛群落在组成上同样具有较大区别;在区域不同生境类型形成的复杂结构景观的大背景下,这进一步凸显了生境结构及景观异质性对蜘蛛群落的重要性^[23-24]。有研究表明,植被复杂度能够影响区域多种节肢动物的多样性,从而为蜘蛛提供更多猎物来源,促进其多度的提升^[25-26];而蜘蛛的密度则主要取决于蜘蛛猎物的数量,因此,蜘蛛多度提升能够有效提升区域范围内天敌的害虫控制效果^[27]。而从生物多样性的角度来看,生境结构的异质性能提供更为广阔的生态位,有利于不同蜘蛛在生境中减少竞争,增加共存,提升多样性^[28-30];而蜘蛛的生物多样性提升有助于丰富其捕食方式,从而提升区域害虫控制的效果^[31-33]。自然恢复草地与人工恢复林地的蜘蛛丰富度及多样性上不存在显著区别且均显著高于农田,而人工修复林地的蜘蛛多度指数则显著高于自然恢复草地及农田。自然恢复草地和人工修复林地相对于农田具有更高的植被复杂度,为蜘蛛群落提供了良好的栖息环境,足以容纳更多的蜘蛛群落,从而提高了蜘蛛群落的多样性。例如,与农田相比,自然恢复草地的蜘蛛群落中,赫氏豹蛛、晨豹蛛、亚东豹蛛和星豹蛛等具有强掠食性的蜘蛛明显增加,表明自然恢复草地的蜘蛛群落具有更好的捕食功能。而不同生境蜘蛛群落多度指标的差异可能是由于农田及自然恢复草地均属于开阔生境,而人工修复林地属于密闭生境,蜘蛛群落的总体体长相对较小,使得生境中能容纳更多的蜘蛛。

在相似的生境类型中,即使从分类学上蜘蛛群落区别很大,蜘蛛功能特征也往往体现出相近的趋势,这是不同蜘蛛对生境异质性的趋同效应及生态位结构共同决定的。农田及草地均属于开阔生境,缺乏乔木结构,植被平均高度偏低,而大量的乔灌木可以为结网型蜘蛛提供结网的物理结构支持^[34-36],因此,农田及自然恢复草地等开阔生境中结网型蜘蛛比例偏低,人工修复林地中较高的植被复杂度使得蜘蛛具有较为平均的功能群分布。此外,蜘蛛在开阔生境中具有更高的飞行扩散能力,这与蜘蛛缺乏固定的结网物理结构以及开阔生境中扰动可能较高、蜘蛛具有更高的扩散需求有关^[16,37]。大型蜘蛛往往需要更多资源,活动范围较广,对栖息地结构更加敏感。试验表明,蜘蛛群落的捕猎特征越趋向于游猎型时,其平均体长越长,这可能与试验的取样方

法有关^[38]。通过陷阱法捕捉到的主要是地表活动性蜘蛛,很少能够取到大型结网型蜘蛛。此外,大型蜘蛛往往会占据更宽的生态位,影响生境中容纳的蜘蛛数量和多样性。因此,农田中蜘蛛群落平均体长较高,但其多度及多样性则相对较低。

蜘蛛的多样性和群落特征同生境类型密切相关,在区域范围内,生境的植被复杂度和景观异质性的提高有助于增加蜘蛛群落的多样性,并起到保护特有种的作用。而从功能特征的角度来看,多样化的恢复生境类型在保护蜘蛛群落上具有一定的互补性,多样化的生境结构和恢复方式不但能够提高区域的害虫控制功能,还能够从蜘蛛物种资源库的角度保护区域内蜘蛛群落资源。因此,在区域范围内因地制宜,营造保护多种生境的异质性景观,采用多样化的生境恢复措施,对维护区域的蜘蛛群落具有积极意义。

参考文献

- [1] Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 2003, **34**: 487-515
- [2] 秦彩欣, 谷建才. 浅谈河北省退耕还林造林模式. 中国农学通报, 2009, **25**(6): 93-96 [Qin C-X, Gu J-C. A brief talk on afforestation model of conversion of cropland to forest in Hebei Province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, **25**(6): 93-96]
- [3] 李进, 赵雪, 宝音, 等. 河北坝上弃耕地植被的演替特征及环境因子的影响. 中国沙漠, 1994, **14**(4): 15-22 [Li J, Zhao X, Bao Y, et al. Succession characteristics and environmental factors of abandoned cultivated land in Hebei Province. *Journal of Desert Research*, 1994, **14**(4): 15-22]
- [4] Kruess A, Tscharntke T. Habitat fragmentation, species loss, and biological-control. *Science*, 1994, **264**: 1581-1584
- [5] Steffan-Dewenter I. Landscape context affects trap-nesting bees, wasps, and their natural enemies. *Ecological Entomology*, 2002, **27**: 631-637
- [6] Koh I, Holland JD. Grassland plantings and landscape natural areas both influence insect natural enemies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, **199**: 190-199
- [7] 李冰. 影响退耕还林区域经济发展的关键性因素分析——以河北省坝上为例. 林业经济, 2011(10): 80-82 [Li B. Analysis of the key factors affecting the regional economic development of returning cropland to forests: Taking Bashang as an example. *Forestry Economics*, 2011(10): 80-82]
- [8] 安淑萍, 郭树华. 河北省坝上地区退耕还林试点示范

- 工程的背景及问题解析. 林业经济, 2001(11): 45-51 [An S-P, Guo S-H. Background and analysis on the conversion of cropland to forest program project in Hebei Province. *Forestry Economics*, 2001(11): 45-51]
- [9] Landis DA, Wratten SD, Gurr GM. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 2000, **45**: 175-201
- [10] 张旭珠, 韩印, 宇振荣, 等. 半自然农田边界与相邻农田步甲和蜘蛛的时空分布. 应用生态学报, 2017, **28**(6): 1879-1888 [Zhang X-Z, Han Y, Yu Z-R, *et al.* Spatio-temporal distribution of carabids and spiders between semi-natural field margin and the adjacent crop fields in agricultural landscape. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, **28**(6): 1879-1888]
- [11] 刘文惠, 胡懿君, 胡文超, 等. 苜蓿邻作麦田地表步甲和蜘蛛种群动态及其对苜蓿刈割的响应. 应用生态学报, 2014, **25**(9): 2677-2682 [Liu W-H, Hu Y-J, Hu W-C, *et al.* Population dynamics of ground carabid beetles and spiders in a wheat field along the wheat-alfalfa interface and their response to alfalfa mowing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, **25**(9): 2677-2682]
- [12] Buchholz S, Moeller M. Assessing spider diversity in grasslands: Does pitfall trap color matter? *Journal of Arachnology*, 2018, **46**: 376-379
- [13] Yandell BS. Practical data analysis for designed experiments. *Technometrics*, 1997, **40**: 154-155
- [14] Anderson MJ. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 2001, **26**: 32-46
- [15] Bell J, Bohan DE, Weyman G. Ballooning dispersal using silk: World fauna, phylogenies, genetics and models. *Bulletin of Entomological Research*, 2005, **95**: 69-114
- [16] Blandenier G. Ballooning of spiders (Araneae) in Switzerland: General results from an eleven-year survey. *Arachnology*, 2009, **14**: 308-316
- [17] Greenstone MH, Morgan CE, Hultsch A, *et al.* Ballooning spiders in Missouri, USA, and New South Wales, Australia: Family and mass distributions. *Journal of Arachnology*, 1987, **15**: 163-170
- [18] Rypstra A, Schmidt J, Reif B, *et al.* Tradeoffs involved in site selection and foraging in a wolf spider: Effects of substrate structure and predation risk. *Oikos*, 2007, **116**: 853-863
- [19] Uetz GW. Guild structure of spiders in major crops. *Journal of Arachnology*, 1999, **27**: 270-280
- [20] Bell J, Bohan DE, Weyman G. Ballooning dispersal using silk: World fauna, phylogenies, genetics and models. *Bulletin of Entomological Research*, 2005, **95**: 69-114
- [21] Laliberté E, Legendre P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 2010, **91**: 299-305
- [22] Van den Wollenberg AL. Redundancy analysis an alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika*, 1977, **42**: 207-219
- [23] Luciana RP, Fernando J, Sandra L, *et al.* Spider trait assembly patterns and resilience under fire-induced vegetation change in South Brazilian grasslands. *PLoS One*, 2013, **8**(3): e6207
- [24] Cardoso P, Pekár S, Jocqué R, *et al.* Global patterns of guild composition and functional diversity of spiders. *PLoS One*, 2011, **6**(6): e21710
- [25] Mestre L, Bucher R, Entling MH. Trait-mediated effects between predators: Ant chemical cues induce spider dispersal. *Journal of Zoology*, **293**: 119-125
- [26] Stenchly K, Clough Y, Buchori D, *et al.* Spider web guilds in cacao agroforestry-comparing tree, plot and landscape-scale management. *Diversity and Distributions*, 2011, **17**: 748-756
- [27] Nyffeler M, Sunderland KD. Composition, abundance and pest control potential of spider communities in agroecosystems: A comparison of European and US studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, **95**: 579-612
- [28] Dippenaar SM, Dippenaar-Schoeman AS, Modiba MA, *et al.* A checklist of the spiders (Arachnida, Araneae) of the Polokwane Nature Reserve, Limpopo Province, South Africa. *Koedoe*, 2008, **50**: 10-17
- [29] Mauro G, Fancesco B, Mattia B, *et al.* Life in harsh environments: Carabid and spider trait types and functional diversity on a debris-covered glacier and along its foreland. *Ecological Entomology*, 2017, **42**: 838-848
- [30] Tews J, Brose U, Grimm V, *et al.* Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 2004, **31**: 79-92
- [31] Marc P, Canard A. Maintaining spider biodiversity in agroecosystems as a tool in pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, **62**: 229-235
- [32] Miliczky ER, Calkins CO, Horton DR. Spider abundance and diversity in apple orchards under three insect pest management programmes in Washington State, U.S.A. *Agricultural & Forest Entomology*, 2015, **2**: 203-215
- [33] Nyffeler M, Sunderland KD. Composition, abundance and pest control potential of spider communities in agroecosystems: A comparison of European and US studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2003, **95**: 579-612
- [34] Lubin YD. Seasonal abundance and diversity of web-building spiders in relation to habitat structure on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Arachnology*, 1978, **6**: 31-51
- [35] Gómez JE, Jenny L, Anthony J. Importance of vegeta-

- tion structure to the assembly of an aerial web-building spider community in North American open grassland. *Journal of Arachnology*, 2012, **44**: 28–35
- [36] Loomis JD, Cameron GN, Uetz GW. Impact of the invasive shrub *Lonicera maackii* on shrub-dwelling Araneae in a deciduous forest in Eastern North America. *American Midland Naturalist*, 2014, **171**: 204–218
- [37] Simonneau M, Courtial C, Pétilion J. Phenological and meteorological determinants of spider ballooning in an agricultural landscape. *Comptes Rendus Biologies*, 2016, **339**: 408–416
- [38] Kolb S, Uzman D, Leyer I, *et al.* Differential effects of semi-natural habitats and organic management on spiders in viticultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, **287**: 106695

作者简介 胡文浩,男,1992年生,博士研究生。主要从事景观生态学研究。E-mail: huwenhao@cau.edu.cn

责任编辑 孙菊

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



封面说明

封面图片由中国农业大学资源与环境学院胡文浩博士研究生于2018年7月拍摄于河北省张家口市崇礼区白旗乡白旗村(40°47' N, 114°17' E)。使用器材为大疆精灵四无人机 PHANTOM 4 自带相机 FC6310S, ISO 速度 1600, 焦距 9 mm, 最大光圈 2.97, 飞行高度约 150 m。该区属于华北平原与内蒙古高原的过渡区域, 最低海拔 813 m, 最高海拔 2134 m, 作物种植种类差异较大, 既有玉米、甘蓝、花菜等常规农作物和经济作物, 也有莜麦、胡麻、马铃薯等特色高原农作物和经济作物, 是典型的农牧交错带。气候属温带亚干旱区, 年均温 3.7 °C, 年降水量 483.3 mm, 主要集中在 7—9 月; 土壤多属砂壤土、微碱性, 透水透气性较好, 有机质含量较高。该区具有庞大的蜘蛛种质资源库, 既有田野豹蛛(*Pardosa agrestis*)、星豹蛛(*Pardosa astrigera*)等华北地区常见种, 也有彭氏平腹蛛(*Gnaphosa pengi*)、埃氏狂蛛(*Zelotes eskovi*)等近年来发现的新种。当地蜘蛛群落起到了良好的害虫控制作用, 为当地无公害蔬菜产业的发展做出了巨大的贡献。图片展现了在区域尺度下, 高度景观异质性条件下农田、自然恢复草地和人工修复林地的生境特征与景观构成。其中, 连片的华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)人工林、荒草地、农田、村庄等景观特征展现得十分明显。另外, 除了展现该区景观构成与生境特征外, 还展现了该区作为 2022 年冬奥会滑雪赛区的壮美风光。