

刘任涛,张安宁.固沙灌丛林营造初期地面节肢动物群落结构特征[J].中国沙漠,2020,40(5):190-199.

固沙灌丛林营造初期地面节肢动物群落结构特征

刘任涛,张安宁

(宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地,宁夏 银川 750021)

摘要: 为了解固沙灌丛林营造对地面节肢动物群落组成及多样性的影响,选择扎设草方格后营造的油蒿(*Artemisia ordosica*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)和柠条(*Caragana korshinskii*)灌丛林地为研究对象,以流动沙地为对照,采用陷阱诱捕法调查了不同生境样地地面节肢动物群落组成、多样性与生物量分布及其功能群结构特征。结果显示:(1)相对于流动沙地,油蒿、花棒和柠条林的地面节肢动物群落组成均表现为优势类群和常见类群的类群数变化不大,但稀有类群的类群数有所增加,而且优势类群和稀有类群的优势度增加,常见类群的优势度下降。沙拐枣林地表现为无稀有类群出现。(2)地面节肢动物个体数、类群数和Shannon指数均表现为油蒿林地显著高于流动沙地($P<0.05$),而其余3个林地与流动沙地间无显著差异性。生物量则表现为油蒿林地显著低于流动沙地和花棒、沙拐枣和柠条林地($P<0.05$)。(3)捕食性和腐食性动物类群的个体数和类群数均表现为油蒿最高,而其余3个林地与流动沙地间无显著差异性。但是,植食性动物类群的个体数则表现为花棒最高,而其余3个林地与流动沙地间无显著差异性。(4)草本植物多度($F=6.91, P=0.001$)对地面节肢动物多度分布产生显著影响。灌丛林营造短期内,油蒿灌丛林对地面节肢动物多样性的保育效应要优于其他灌丛林地,而且油蒿、沙拐枣、花棒和柠条等植物短期恢复对地表节肢动物群落组成及营养结构的影响不同。

关键词: 流动沙地;灌丛林营造;地面节肢动物;群落结构;防沙治沙

文章编号: 1000-694X(2020)05-190-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00071

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

0 引言

在宁夏中北部沙质草地生境,由于长久以来人类活动的干扰,例如过度放牧,再加上干旱的气候条件,草地发生退化、沙化^[1]。为了防沙治沙、促进退化植被生态恢复,扎设草方格、建设人工灌丛林来进行生态恢复和生态重建,已被认为是沙漠化治理的有效措施,成功经验已经在非洲、东亚和蒙古国等地区得到广泛采用和推广^[2]。随着灌丛的定居、生长发育,风沙活动减弱,土壤环境逐渐得到改善,促进土壤-植被系统向良好方向发展^[3]。地面节肢动物是沙地草地生态系统的重要组成部分,对改善土壤质量、加速枯落物分解、加快生物地球化学循环过程具有重要的生态功能,并且对环境条件变化非常敏感^[4]。所以,研究沙漠化地段草方格扎设

及灌丛林营造对地面节肢动物群落组成、多样性分布特征的影响,对于沙漠化区域人工林建设、生物多样性保护及防沙治沙具有重要意义。

目前,关于灌丛对于节肢动物时空分布影响的研究已有许多报道。Doblas-Miranda等^[5]通过对地中海干旱荒漠草原生态系统中不同灌丛生境大型节肢动物组成及其季节变化进行研究,发现灌丛生境能够维持较高的生物多样性、丰富度和生物量。Eldridge等^[6]研究了美国新墨西哥州奇瓦瓦荒漠草原不同灌丛群落中长期定居土壤动物群落结构分布特征,认为土壤动物的活动在塑造植被群落和维持或加强荒漠化进程方面具有重要作用。Zhao等^[7]发现科尔沁沙地灌丛可以聚集和增加局部大型土壤动物种类、数量和多样性而形成“虫岛”现象。刘继亮等^[8]发现灌丛微生境对土壤动物群落分布特征

收稿日期:2020-05-15; 改回日期:2020-07-13

资助项目:国家自然科学基金项目(41867005,41661054);宁夏青年拔尖人才培养工程项目(RQ0010);宁夏自然科学基金项目(2020AAC02014)

作者简介:刘任涛(1980—),男,河南南阳人,博士,研究员,主要从事荒漠生态学研究。E-mail: nxuliu2012@126.com

及其结构存在显著影响。灌丛不仅会为土壤动物提供良好的栖息、繁殖场所和食物资源条件,而且灌丛的发育过程及其功能特性还会影响土壤动物在灌丛内外的空间分布,在维持土壤动物群落生物多样性等方面起到重要作用^[9]。但是,基于草方格的固沙灌丛林营造对地面节肢动物群落结构的影响规律,尚不清楚。

在草方格扎设、防风固沙林营造后的生态恢复过程中,由于不同灌丛林生理生态学特性存在显著差异性,幼苗定居、生长过程中灌丛形态特征、生长特征及功能性状发生变化,直接关系到节肢动物群落分布和食物网结构^[10]。不同灌丛植物本身生活史过程、营养化学成分的差异性,决定了节肢动物的取食行为、栖息地选择和生存状况^[11],直接影响到固沙灌丛林营造后生态系统结构与功能的恢复过程。所以,开展草方格扎设后不同灌丛林营造对地面节肢动物群落结构的影响规律研究,对于解析固沙灌丛林生物多样性分布特征、生态系统功能及生态效应评价均具有重要意义。

鉴于此,在宁夏盐池县发生严重沙漠化地段,选择扎设草方格营造的不同灌丛林地为研究对象,以周围流动沙地为对照,通过调查不同生境样地地面节肢动物群落组成、多样性分布及生物量,解析不同固沙灌丛林营造对地面节肢动物群落结构的影响规律,旨在为宁夏荒漠草原人工林建设、生物多样性保护和沙漠化治理提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

研究样地位于宁夏盐池县北王圈村(37°52′26.12″N,107°29′44.29″E)。该区域气候属于典型的温带大陆性气候。多年平均气温8.2℃,最冷月(1月)气温-7.82℃,最热月(7月)气温21.95℃。年降水量280 mm,60%以上的降雨在7—9月;年潜在蒸发量2 710 mm。年无霜期165 d。地带性土壤以灰钙土为主,非地带性土壤主要为风沙土。土壤结构松散,肥力较低。

于2011年5月,在研究样地发生严重沙漠化地段,设立固沙试验区,扎设草方格、营造灌丛林。草方格规格:1 m×1 m,然后将试验区划分为4种灌丛林营造区,分别为油蒿(*Artemisia ordosica*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、沙拐枣(*Calligonum mon-*

golicum)和柠条(*Caragana korshinskii*)幼苗。每隔1行种植灌丛幼苗1株(幼苗高度30~50 cm),株距1.5 m,行距3 m;幼苗栽植深度30~40 cm(齐地面或略高于地面,避免幼苗受到夏季太阳灼伤)。幼苗栽植在平坦的流动沙地上,微地形坡度5°~10°,地下水深度为>6 m。植被类型为沙地植被,常见植物种类以旱生和中旱生类型为主,主要包括油蒿、花棒、柠条等灌木、亚灌木和苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、中亚白草(*Pennisetum centrasiaticum*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)等草本植物。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

于2013年7—8月的植物生长期,即地表节肢动物物种数最高的时期^[12],选择草方格扎设并营造有油蒿、花棒、沙拐枣、柠条的4种固沙灌丛林地为研究样地,以周围流动沙地(未扎设草方格且未营造灌丛)为对照样地。5个生境样地均分布在平坦的沙地上,微地形基本相同。每种样地设置5个重复样区,每个重复样区面积1.2~1.7 hm²,间距30 m左右。每个样区布设取样点4个,共100样点。

1.2.2 地面节肢动物调查与标本鉴定

在每个调查样点,布设1个塑料杯(内径7 cm,高度10 cm),采用陷阱捕获法(Pitfall traps)调查地面节肢动物^[11]。将塑料杯埋入土中,杯口与地面齐平,而且在杯口上覆盖网孔为2 cm的金属网以防止沙蜥属等大型动物落入杯中^[13]。分别在2013年7月和8月各调查一次(代表生长季),每次调查持续时间为14 d,每3 d检查1次,并收集地面节肢动物标本,保存于75%酒精中。

采用实体显微镜(Motic SMZ-168)对捕获到的节肢动物样品进行种类鉴定和个体数量统计。地面节肢动物标本分类鉴定主要依据《中国土壤动物检索图鉴》^[14]、《昆虫分类》^[15]和《宁夏贺兰山昆虫》^[16]等参考书进行,所有地面节肢动物样品鉴定到科或属水平。根据不同地面节肢动物类群在群落总个体数中所占比例,将其划分为优势类群(占群落总个体数的10%以上)、常见类群(1%~10%)和稀有类群(<1%)。采用微量天平(精度为0.0001)称量地面节肢动物的生物量。另外,依据主体节肢动物食性和实际观察,将调查获得的地面节肢动物划分为捕食性、植食性、腐食性和杂食性4个营养类群^[17]。

1.2.3 土壤样品采集与测定分析

于2013年7月,在每个调查样点,按照“M”形用100 mL环刀,采集0~10 cm土层新鲜土样5个,混合均匀后用自封袋取500 g土样带回实验室。1/4新鲜土样用于土壤含水量的测定,剩余3/4土样经自然风干后,过2 mm土壤筛除去树根、叶片等杂物,用于土壤颗粒组成及土壤理化性质的测定。同时,在上述采样点附近利用100 mL环刀取原状土样1个,用于土壤容重测定。本部分结果见参考文献[18]。

土壤容重采用环刀法取样和烘干法测定。土壤含水量(%)采用烘干称重法进行测定。土壤颗粒组成(%)采用英国马尔文公司的Mastersizer3000激光粒度仪测定。采用美国农业部分类系统对土壤颗粒进行分级:粗砂粒(250~1 000 μm)、细砂粒(100~250 μm)、极细砂粒(50~100 μm)、黏粉粒(<50 μm)^[18]。土壤pH值(水土比悬液为2:1)和土壤电导率(水土比浸提液为5:1; $\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$)用P4多功能测定仪器测定(Multi-line P4 Universal Meter, WTW公司,德国)。土壤有机碳($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、土壤全氮($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)用元素分析仪(意大利DK6,UDK140分析仪)进行测定。

1.2.4 灌丛幼苗生长特征和地表植被调查

于2013年7月,在每个调查样点附近,布设5 m×5 m样方,调查灌丛个体数(株·m⁻²)、高度(cm)、冠幅(m²)等指标。同时,布设1 m×1 m样方,调查地表草本植被特征,包括个体数、高度和物种数。本部分结果见参考文献[18]。

1.3 数据处理与分析

将每个样地2次调查所获得的地面节肢动物个体数进行合并计算,以便保证每个灌丛林地的样地代表性和满足统计分析。然后,统计每个样地的地面节肢动物个体数和类群数,在此基础上计算Shannon多样性指数(H)。

$$H = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中: $P_i = x_i / \sum x_i$,表示第*i*种节肢动物类群个体数占总个体数的比例; x_i 表示第*i*种节肢动物类群的个体数。

采用SPSS15.0软件进行统计分析。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和Duncan多重比较法比较不同数据组间的差异性。利用字母标记法表示各数据组之间的差异显著性($P < 0.05$)。应用R软件devtools包和ggvegan包进行多元统计分析运

算。首先,采用DCA分析(Detrended correspondence analysis)确定排序轴的最大梯度长度为1.653<3,确定进行RDA分析。然后,利用方差膨胀因子分析,对所有环境因子进行共线性分析,依次删掉最大的变量,也就是删除掉共线性的环境因子,直到所有的变量都小于10;并用step模型检测最低AIC值,自动筛选出最优的环境因子;当“none”位于最顶端时意味着改模型筛选结束,位于none值上方的环境因子即为与节肢动物群落拟合最好的环境因子。最后,利用ANOVA进行显著性检验,得到所筛选的环境因子的整体贡献率以及每个环境因子的单独贡献率,并绘制地面节肢动物群落与解释变量关系的二维排序图。

2 结果与分析

2.1 环境特征

不同类型林地土壤理化性质和植被分布特征存在显著差异性(表1)。土壤粗砂含量表现为油蒿林地最高,流沙和沙拐枣居中,而花棒和柠条最低;土壤细砂表现为沙拐枣最高,花棒和柠条居中,而流沙和油蒿最低;土壤极细砂表现为沙拐枣林地显著低于流沙地和油蒿、花棒和柠条林地;土壤黏粉粒表现为油蒿最高,流沙和柠条居中,而花棒和沙拐枣最低。土壤含水量、电导率、全碳、全氮和C:N均表现为油蒿最高,而流沙地和花棒、沙拐枣及柠条林地较低。土壤容重表现为沙拐枣和花棒较高,流沙地和柠条居中,而油蒿最低。土壤pH表现为沙拐枣最高,花棒居中,而流沙地、油蒿和柠条林地最低。

沙拐枣灌丛的高度和冠幅均显著高于其他3种灌丛,而柠条高度显著高于花棒和油蒿。草本植物密度和物种数均表现为油蒿最高,花棒和流沙地次之,而沙拐枣和柠条最低,但植物高度表现为流沙地最高,沙拐枣和柠条林地次之,而油蒿和花棒林地最低。

2.2 地面节肢动物群落组成

调查样地共捕获地面节肢动物853只,隶属于6目13科14个类群(表2)。其中,优势类群为蠋螋科(Labiduridae)、步甲科(Carabidae)和拟步甲科(Tenebrionidae),个体数占总个体数的91.09%;常见类群为蝼蛄科(Gryllotalpidae)、蜣螂科(Geotrupidae)

表 1 不同样地土壤理化性质和植被特征(平均值±标准误)

Table 1 Soil properties and vegetation characteristics in different sampling sites

土壤植被性状	样地				
	流沙	油蒿	花棒	沙拐枣	柠条
土壤粗砂粒 CS	3.6±1.2 ^b	9.0±0.5 ^a	1.5±0.2 ^c	2.3±0.3 ^{bc}	1.6±0.4 ^c
土壤细砂粒 FS	64.5±6.1 ^{bc}	57.9±3.1 ^c	70.2±4.0 ^b	85.5±1.6 ^a	73.4±2.2 ^b
土壤极细砂 VFS	29.1±3.8 ^a	28.4±3.1 ^a	27.5±3.8 ^a	12.0±1.6 ^b	23.7±2.1 ^a
土壤黏粉粒 CpS	2.8±1.1 ^b	4.7±0.3 ^a	0.8±0.2 ^c	0.2±0.0 ^c	1.3±0.1 ^{bc}
土壤含水量 SM	3.7±0.4 ^b	7.3±0.6 ^a	2.9±0.4 ^{bc}	2.4±0.0 ^c	3.4±0.2 ^{bc}
土壤容重 BD	1.4±0.0 ^b	1.1±0.0 ^c	1.4±0.0 ^{ab}	1.5±0.0 ^a	1.4±0.0 ^b
土壤电导率 EC	60.4±1.2 ^b	70.0±2.1 ^a	57.2±1.1 ^b	58.8±0.6 ^b	58.6±0.2 ^b
pH	9.3±0.0 ^b	9.3±0.0 ^b	9.4±0.0 ^{ab}	9.4±0.0 ^a	9.4±0.0 ^b
土壤总氮 TN	0.1±0.0 ^b	0.3±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b
土壤有机碳 OC	0.7±0.1 ^b	4.5±1.3 ^a	0.4±0.0 ^b	0.4±0.0 ^b	0.8±0.4 ^b
土壤 C:N	6.5±0.3 ^b	15.6±2.6 ^a	4.4±0.6 ^b	5.6±0.7 ^b	7.2±1.2 ^b
草本植物多度 HD	78.6±9.5 ^b	255.3±20.3 ^a	51.2±15.6 ^{bc}	14.7±3.4 ^c	25.2±8.8 ^c
草本植物物种数 HR	4.2±0.6 ^b	10.0±0.4 ^a	4.2±0.7 ^b	1.8±0.3 ^c	2.0±0.3 ^c
草本植物高度 HH	23.9±2.7 ^a	10.9±1.3 ^b	8.9±2.0 ^b	16.9±0.9 ^{ab}	18.5±6.1 ^{ab}
灌丛高度 SH	—	41.8±2.1 ^c	48.8±5.6 ^c	123.0±10.2 ^a	69.8±3.2 ^b
灌丛冠幅 SC	—	0.4±0.1 ^b	0.4±0.1 ^b	2.0±0.3 ^a	0.3±0.0 ^b

“—”表示不存在,不同字母表示不同生境差异显著($P<0.05$)。

共 2 个类群,个体数占总个体数的 5.86%;其余 9 类为稀有类群,个体数仅占总个体数的 3.05%。

从表 2 可以看出,流动沙地共有 5 个类群,优势类群、常见类群和稀有类群的类群数分别为 3、1、1,其个体数占本样地总个体数的 90.8%、8.3%、0.9%。相对于流动沙地,油蒿林地的节肢动物优势类群、常见类群和稀有类群的类群数分别为 2、4、5,其个体数所占比例分别为 89.2%、7.9%、2.9%。花棒林地的节肢动物优势类群、常见类群和稀有类群的类群数分别为 3、2、3,其个体数所占比例分别为 93.5%、4.7%、1.8%。沙拐枣林地的节肢动物优势类群、常见类群和稀有类群的类群数分别为 3、2、0,其个体数所占比例分别为 94.4%、5.6%、0。柠条林地的节肢动物优势类群、常见类群和稀有类群的类群数分别为 3、2、1,其个体数所占比例分别为 88.7%、9.9%、1.4%。

流动沙地优势类群包括蠼螋科、步甲科和拟步甲科 3 个类群,而花棒、沙拐枣和柠条林地的节肢动物优势类群亦包括蠼螋科、步甲科和拟步甲科 3 个相同类群,但油蒿林地优势类群则仅包括蠼螋科和

步甲科 2 个类群。

2.3 地面节肢动物群落多样性

地面节肢动物个体数表现为油蒿灌丛林地显著高于流动沙地($P<0.05$,图 1),而花棒、沙拐枣及柠条林地和流动沙地间无显著差异性。类群数表现为油蒿林地最高,沙拐枣和柠条林地最低,而流动沙地和花棒林地居中。Shannon 指数表现为油蒿林地最高,流动沙地、花棒和沙拐枣林地最低,而柠条林地居中。生物量表现为油蒿林地显著低于流动沙地、花棒和沙拐枣及柠条林地($P<0.05$)。

2.4 地面节肢动物功能群结构

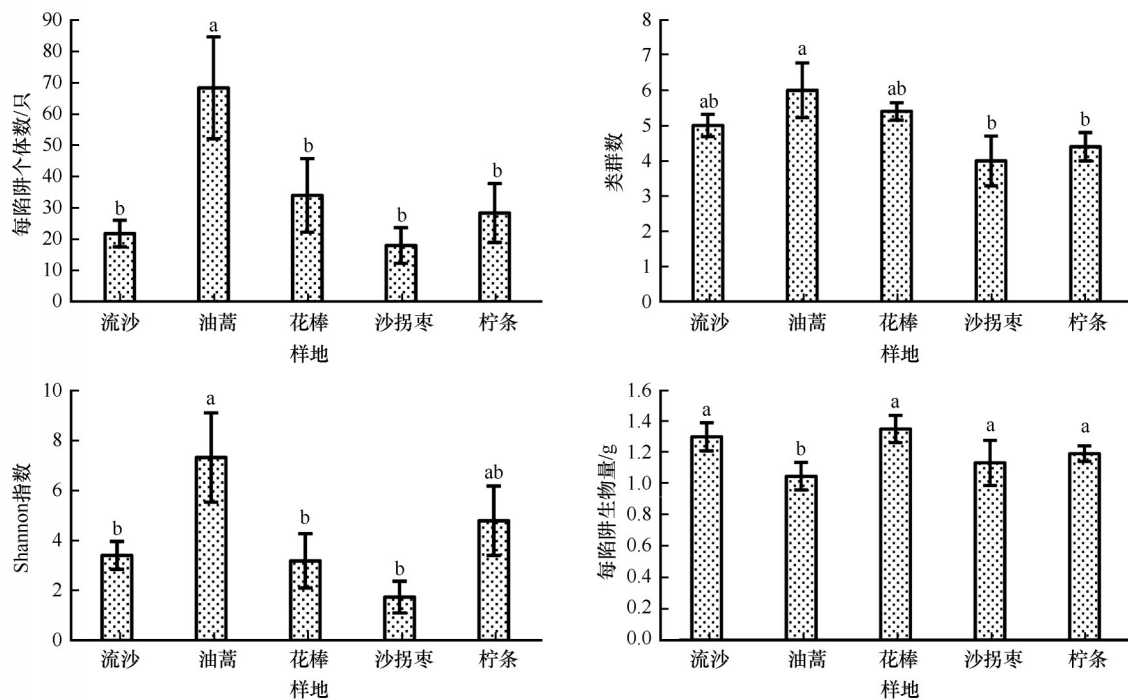
依据食性划分,调查获得的地面节肢动物共包括捕食性、植食性、腐食性和杂食性 4 个营养类群,分别有 7、3、3、1 个类群,其个体数分别占总个体数的 78.19%、18.99%、2.11%、0.71%(表 2)。由于杂食性动物只有 1 个类群,即蚁科(Formicidae),而且仅在油蒿林地捕获到个体,每陷阱个体数 1.2±0.8 只,故本文仅比较其余 3 个营养类群的分布情况。

表 2 不同样地地面节肢动物群落组成及营养类群的个体数分布(平均值±标准误)

Table 2 The composition and trophic groups of ground-active arthropod communities in different sampling sites

类群	功能群	流沙	油蒿	花棒	沙拐枣	柠条
长奇盲蛛科(Phalangiidae)	Pr	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.2 +	0.0±0.0	0.0±0.0
狼蛛科(Lycosidae)	Pr	0.0±0.0	0.8±0.6 ++	0.2±0.2 +	0.0±0.0	0.0±0.0
平腹蛛科(Gnaphosidae)	Pr	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.2 +	0.0±0.0	0.0±0.0
光盔蛛科(Liocranidae)	Pr	0.0±0.0	0.2±0.2 +	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.2 +
蝼蛄科(Gryllotalpidae)	Ph	1.8±0.4 ++	1.2±0.2 ++	1.2±0.5 ++	0.6±0.4 ++	2.8±0.7 ++
蟋蟀科(Gryllidae)	Ph	0.0±0.0	0.6±0.6 +	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
蠼螋科(Labiduridae)	Pr	10.8±3.1 +++	39.2±11.0 +++	12.4±5.2 +++	6.0±2.0 +++	9.2±3.9 +++
步甲科(Carabidae)	Pr	5.0±1.2 +++	21.8±4.8 +++	8.0±3.2 +++	6.8±2.6 +++	12.0±3.0 +++
蛭蟊科(Geotrupidae)	Sa	0.0±0.0	2.2±1.0 ++	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.2 +
葬甲科(Silphidae)	Sa	0.0±0.0	0.4±0.2 +	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
阎甲科(Histeridae)	Sa	0.0±0.0	0.0±0.0	0.4±0.4 ++	0.4±0.4 ++	0.0±0.0
拟步甲科(Tenebrionidae)	Ph	4.0±1.3 +++	0.6±0.2 +	11.4±3.9 +++	4.2±1.5 +++	4.0±2.4 +++
步甲科幼虫(Larval Carabidae)	Pr	0.2±0.2 +	0.2±0.2 +	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
蚁科(Formicidae)	Om	0.0±0.0	1.2±0.8 ++	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0

捕食性=Pr,植食性=Ph,腐食性=Sa,杂食性=Om. +表示稀有类群,++表示常见类群,+++表示优势类群。



不同小写字母表示不同生境的差异性, $P < 0.05$

图 1 不同样地地面节肢动物群落多样性分布

Fig.1 The diversity distribution of ground-active arthropod communities in different sampling sites

捕食性动物和腐食性的个体数分布规律相似,均表现为油蒿灌丛林地显著高于流动沙地($P < 0.05$,图2),而花棒、沙拐枣及柠条林地和流动沙地间无显著差异性。植食性动物的个体数表现为花棒最

高,油蒿和沙拐枣林地最低,而流动沙地和柠条林地居中($P < 0.05$)。

捕食性动物的类群数表现为油蒿和花棒林地最高,沙拐枣林地最低,而流动沙地和柠条林地居

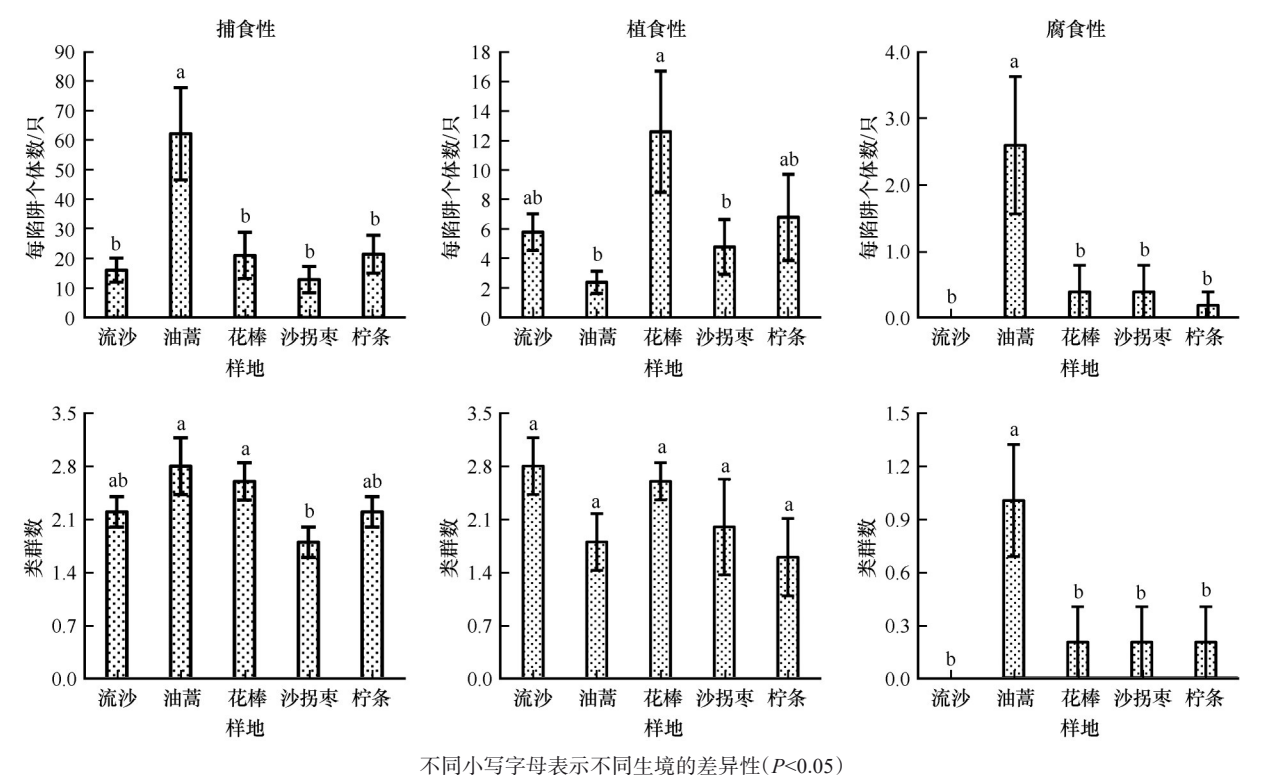


图2 不同样地地面节肢动物功能群个体数与类群数分布

Fig.2 The abundance and richness of trophic groups of ground-active arthropods in different sampling sites

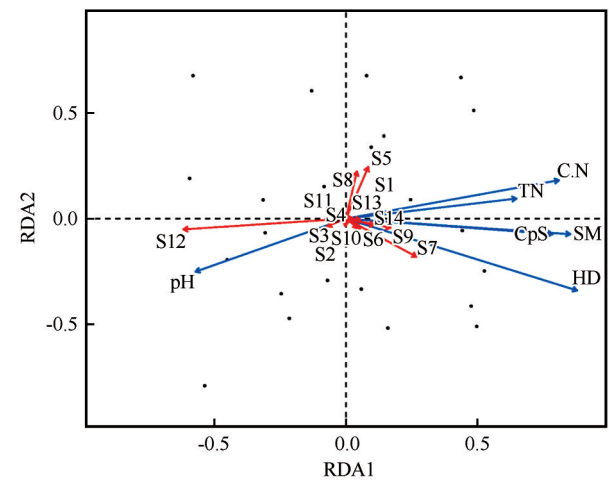
中($P<0.05$)。腐食性动物的类群数表现为油蒿灌丛林地显著高于流动沙地($P<0.05$),而花棒、沙拐枣及柠条林地和流动沙地间无显著差异性。植食性动物的类群数则表现为不同样地间无显著差异性($P>0.05$)。

2.5 地面节肢动物群落分布与环境因子的关系

利用方差膨胀因子分析法对所有环境因子进行共线性分析后,发现草本植物多度(HD)、土壤含水量(SM)、土壤C:N(C.N)、土壤黏粉粒(CpS)、土壤全氮(TN)和土壤pH(pH)共6个环境因子为最优的环境因子。由图3可知,第1典型轴($F=8.49, P=0.005$)和所有典型轴($F=2.09, P=0.009$)在统计学上均达到显著水平,说明排序分析能够较好地反映地面节肢动物多度与环境因子间的相关关系。草本植物多度($F=6.91, P=0.001$)对地面节肢动物多度分布产生显著影响(表3)。

3 讨论与结论

在草地发生严重沙漠化地段开展扎设草方格营造灌木林,已被认为是防沙治沙、退化草地生态系统结构与功能恢复的有效手段,得到了大面积推



圆形,样地;长奇盲蛛科,S1;狼蛛科,S2;平腹蛛科,S3;光盆蛛科,S4;蜚蛄科,S5;蟋蟀科,S6;螳螂科,S7;步甲科,S8;蜣螂科,S9;葬甲科,S10;阎甲科,S11;拟步甲科,S12;步甲科幼虫,S13;蚊科,S14;草本植物多度,HD;土壤含水量,SM;土壤C:N,C.N;土壤黏粉粒,CpS;土壤全氮,TN;土壤pH,pH.

图3 地面节肢动物群落分布与环境因子关系的RDA二维排序图

Fig.3 B iplot of RDA showing the relationship between ground-active arthropods and environmental factors

广应用。随着流动沙地逐渐固定,土壤理化性质及地表植被在共同促进了退化草地生态系统演变的同时,亦对生存于其中的地面节肢动物群落组成与

表3 环境因子对地面节肢动物群落分布的相对贡献率

Table 3 The contribution of environmental factors to ground-active arthropod community

环境因子	D_f	方差	F	$Pr(>F)$
草本植物多度 HD	1	0.032	6.906	0.001**
土壤含水量 SM	1	0.005	1.136	0.310
土壤 C:N	1	0.005	1.125	0.331
土壤黏粉粒 CpS	1	0.004	0.857	0.468
土壤全氮 TN	1	0.006	1.321	0.262
pH	1	0.005	1.203	0.307
残差	18	0.085		

分布产生了深刻影响^[19]。本调查结果显示, 蠼螋科和步甲科及拟步甲科是优势类群(表2)。步甲科、拟步甲科反映了一种对荒漠、半荒漠生境的生理生态学适应性^[20], 这与刘继亮等^[8]在黑河中游、Sackmann 等^[21]在南美荒漠草原的研究结果相似。捕食性动物包括步甲科和蠼螋科个体数分布较多, 原因可能在于降雨集中的8—9月处于植物生长季且植食性动物个体数增加, 为这些捕食性动物提供了重要的食物来源^[22], 故其种类和数量均会增多, 反映了它们对沙地环境的较强适应性。

本研究中, 相对于流动沙地, 花棒、沙拐枣和柠条林地的地面节肢动物优势类群均为蠼螋科、步甲科和拟步甲科, 但油蒿林地的优势类群则为蠼螋科、步甲科, 这与油蒿林地土壤含水量较高密切相关。王晶等^[22]在塔克拉玛干沙漠中的研究发现, 步甲科个体喜土壤湿度较高的绿洲区生境。刘继亮等^[23]在黑河流域荒漠区发现蠼螋科偏好在沙质、湿润的怪柳人工林生境中生活。这说明油蒿林人工固沙植被恢复, 可能提高了土壤水分的有效性而改变蠼螋科及步甲科甲虫个体的分布。相对于流动沙地, 油蒿、花棒和柠条林地节肢动物稀有类群的类群数变化较大, 优势类群和稀有类群的优势度增加, 而常见类群的优势度下降, 但沙拐枣林地无稀有类群出现。一方面说明不同灌丛林营造固沙措施对地面节肢动物群落组成产生不同的影响, 即油蒿、花棒和柠条林地均有助于增加地面节肢动物的稀有类群数, 而沙拐枣林地对地面节肢动物类群组成的影响有限。同时, 也说明了油蒿、花棒和柠条林地对地面节肢动物类群组成恢复产生了积极作用^[24]。

群落多样性有两方面的含义: 其一是群落所含

物种数的多寡, 即物种丰富度, 群落所含的物种数越多, 多样性就越高; 其二是群落各个种的相对多度, 即群落的均匀性, 均匀性越高的群落, 其异质性就越大, 说明多样性也越高^[25-26]。本调查结果显示, 油蒿林地地面节肢动物个体数、类群数和 Shannon 指数均高于其他林地, 但花棒、沙拐枣和柠条林地地面节肢动物多样性与流动沙地间无显著差异性。刘新民等^[27]在腾格里沙漠研究中发现, 在以干旱为特征的植物群落中的优势植物种(油蒿)是大部分动物类群的主要食物资源和生活场所。这说明沙化地段营造油蒿灌木林有助于地面节肢动物多样性的快速提升, 即油蒿林地地面节肢动物丰富度越高, 其多样性越高^[28]。而柠条、沙拐枣和花棒均属于灌木, 生长较油蒿慢, 故其对土壤和植被的短期影响也小, 结果导致这3种生境地表节肢动物群落与流动沙地接近, 这和前期关于柠条和花棒能够提供地面节肢动物多样性的影响结果^[29]不同, 因此未来需要进一步长期跟踪监测。

生物量的大小是节肢动物群落中内在所固有的功能特征之一, 也是种群数量、年龄大小、死亡率以及能值等生物指标的综合反映, 它既表示了群落的结构特征, 也反映了群落的功能(生物量)特征^[30]。本研究中, 油蒿林地地面节肢动物生物量最低, 这与油蒿林地地面节肢动物个体数和类群数分布正好相反。白耀宇等^[30]研究发现冬水田典型生境中节肢动物群落密度和生物量间存在显著线性正相关性, 这与本研究结果不一致。原因在于本研究样地属于半干旱沙地生境, 资源条件非常有限^[31], 较多的节肢动物个体数和类群数增加了个体生长对有限资源条件的竞争力, 从而导致节肢动物生物量较低。

功能群划分反映了不同节肢动物类群间营养级联关系^[32]。本研究结果表明, 捕食性和植食性动物类群构成了地面节肢动物群落的主要功能群, 特别是捕食性动物占据绝对优势地位, 反映了研究区域地面节肢动物区系以捕食性动物分布为其主要特征^[12]。油蒿林地捕食性和腐食性动物类群的个体数和类群数均较多, 说明油蒿林地有助于延伸食物链长度, 不仅包括食物链上端的捕食性类群, 而且还包括营腐食性物质为主的腐食性动物类群, 有利于物质循环过程和能量流动^[30]。同时, 油蒿林地植食性动物类群个体数较低, 反映了一种下行控制效应^[33]。上行/下行理论(Bottom-up/top-down theo-

ry)综合了资源营养物质的上行作用和捕食者捕食作用的下行影响。虽然两者间在概念的表述上存在差异,实际上并无本质区别,都是以捕食者为调控的主要因子的理论,可看作为同一理论体系^[33]。本调查结果说明油蒿林营造能够在提高节肢动物多样性的同时,亦能够调控植食性害虫的发生。但是,花棒林地植食性类群个体数则较高,反映了豆科灌丛植物对植食性节肢动物的吸引力^[23]。原因在于花棒作为豆科植物,能够为更多的植食性节肢动物个体提供适口性较好的食物资源^[7]。

不同灌木林由于其自身的生理生态学特性而导致产生不同的生态效应。罗雅曦等^[18]研究发现不同灌丛林营造后其自身的生长状况变化较大,并且对土壤环境和地表植被亦产生不同的影响。土壤环境为地面节肢动物提供了栖息地,地表植被分布为地面节肢动物提供了食物来源,而且土壤动物类群数量的多少、组成的变化和密度的大小通常决定于土壤环境条件的优劣和食物资源的有效性^[34]。所以,不同灌丛林营造后通过土壤环境和地表植被对地面节肢动物群落组成和多样性分布产生了深刻影响。本研究结果表明,草本植物多度是影响地面节肢动物多度的主要因素(表3),这与张安宁等^[35]和杨贵军等^[12]的研究结果相似,但与李岳诚等^[36]的研究结果并不一致。杨贵军等^[12]在宁夏盐池荒漠草原发现植被密度和植被盖度是影响整个步甲群落活动密度的决定因素。但李岳诚等^[36]在宁夏灵武白芨滩荒漠生境中发现植被物种密度对地表甲虫的影响相对较弱。这说明不同的生态系统类型中,由于不同土壤动物类群对环境变化的响应模式不同,从而决定了地表节肢动物群落个体数分布特征,从而影响到节肢动物的营养功能群组成及其食物网结构的动态变化^[23]。

蠼螋科和步甲科及拟步甲科是调查样地地面节肢动物群落的优势类群。油蒿、柠条和花棒林营造均可以增加地面节肢动物的稀有类群的类群数,而沙拐枣林营造效果有限。油蒿林地能够显著增加地面节肢动物的多样性。从功能群的角度来看,油蒿、沙拐枣、花棒和柠条等植物短期恢复对地表节肢动物营养结构的影响不同,油蒿林营造可以显著增加捕食性和腐食性动物类群的个体数和类群数,而花棒更有利于植食性动物类群的个体数增加。

参考文献:

- [1] 赵哈林,周瑞莲,苏永中,等.我国北方半干旱地区土壤的沙漠化演变过程与机制[J].水土保持学报,2007(3):1-5.
- [2] Li X R, Xiao H L, He M Z, et al. Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions [J]. Ecological Engineering, 2006, 28(2): 149-157.
- [3] Li X R, Xiao H L, Zhang J G. Long-term ecosystem effects of sand-binding vegetation in the Tengger desert, Northern China [J]. Restoration Ecology, 2004, 12(3): 376-390.
- [4] 刘任涛,郝伟华,朱凡.宁夏荒漠草原地面节肢动物群落组成及季节动态特征[J].草业学报,2016,25(6):126-135.
- [5] Doblas-Miranda E, Sánchez-Piñero F, González-Megías A. Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: composition and temporal changes in the assemblage [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(8): 1916-1925.
- [6] Eldridge D J, Bowker M A, Maestre F T, et al. Impacts of shrub encroachment on ecosystem structure and functioning: towards a global synthesis [J]. Ecology Letters, 2011, 14(7): 709-722.
- [7] Zhao H L, Liu R T. The "bug island" effect of shrubs and its formation mechanism in Horqin Sand Land, Inner Mongolia [J]. CATEN, 2013, 105: 69-74.
- [8] 刘继亮,李锋瑞,刘七军,等.黑河中游荒漠灌丛斑块地面甲虫群落分布与微生境的关系[J].生态学报,2010,30(23): 6389-6398.
- [9] Doblas-Miranda E, Sánchez-Piñero F, González-Megías A. Different microhabitats affect soil macroinvertebrate assemblages in a Mediterranean arid ecosystem [J]. Applied Soil Ecology, 2009, 41(3): 329-335.
- [10] Wezel A, Rajot J L, Herbrig C. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger [J]. Journal of Arid Environments, 2000, 44(4): 383-398.
- [11] Li F R, Liu J L, Liu C A, et al. Shrubs and species identity effects on the distribution and diversity of ground-dwelling arthropods in a Gobi desert [J]. Journal of Insect Conservation, 2013, 17(2): 319-331.
- [12] 杨贵军,贾彦霞,王新谱,等.苜蓿-荒漠草地交错带步甲昆虫多样性[J].环境昆虫学报,2015,37(3):483-491.
- [13] 赵娟,刘任涛,刘佳楠,等.北方农牧交错带退耕还林与还草对地面节肢动物群落结构的影响[J].生态学报,2019,39(5): 1653-1663.
- [14] 尹文英.中国土壤动物检索图鉴[M].北京:科学出版社,1998.
- [15] 归鸿,郑乐怡.昆虫分类[M].南京:南京师范大学出版社,1999.
- [16] 杨贵军,王新谱.宁夏贺兰山昆虫[M].银川:宁夏人民出版社,2010.
- [17] 任国栋,余有志.中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫[M].保定:河北大学出版社,1999.
- [18] 罗雅曦,刘任涛.宁夏风沙区不同人工固沙灌丛林土壤质量

- 评价[J].水土保持研究,2019,26(5):60-67.
- [19] Liu R T, Zhao H L, Zhao X Y, et al. Facilitative effects of shrubs in shifting sand on soil macro-faunal community in Horqin Sand Land of Inner Mongolia, Northern China[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2011, 47(5): 316-321.
- [20] Desender K, Dufrene M, Lareau M, et al. Carabid Beetles: Ecology and Evolution [M]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994: 51.
- [21] Sackmann P, Flores G E. Temporal and spatial patterns of tenebrionid beetle diversity in NW Patagonia, Argentina[J]. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(12): 1095-1102.
- [22] 王晶,吕昭智,殷飞.干旱区景观异质性地表甲虫多样性的影响[J].环境昆虫学报,2016,38(1):67-76.
- [23] 刘继亮,赵文智,李锋瑞,等.人工固沙植被恢复对地表节肢动物群落组成及多样性的影响[J].生态学报,2018,38(4): 1357-1365.
- [24] 刘任涛,朱凡,辛明,等.流动沙地灌丛内外地面/地下土居节肢动物空间分布及其影响因素[J].干旱区研究,2016,33(2): 410-416.
- [25] 赵红蕊,孟庆繁,高文韬.吉林省西部不同封育年限草地昆虫群落季节动态变化[J].吉林农业大学学报,2010,32(6): 626-632.
- [26] 任炳忠,李典忠,孙晓玲,等.吉林省农林天敌昆虫区系及多样性的研究(II)[J].吉林农业大学学报,2002,24(1):28-39.
- [27] 刘新民,陈海燕,乌宁,等.腾格里沙漠生态系统不同固沙方式下昆虫群落的生态位分异研究[J].中国沙漠,2002,22(6): 44-48.
- [28] 李新荣,周海燕,王新平,等.中国干旱沙区的生态重建与恢复:沙坡头站60年重要研究进展综述[J].中国沙漠,2016,36(2):247-264.
- [29] Liu R T, Pen-Mouratov S, Steinberger Y. Shrub cover expressed as an 'arthropod island' in xeric environments[J]. *Arthropod-Plant Interactions*, 2016, 10(5): 393-402.
- [30] 白耀宇,庞帅,殷禄燕,等.冬水田典型生境类型节肢动物群落多样性及生物量特征[J].生态学报,2018,38(23):8630-8651.
- [31] 武海涛,吕宪国,杨青,等.土壤动物主要生态特征与生态功能研究进展[J].土壤学报,2006(2):314-323.
- [32] 程建伟,刘新民,郝百惠,等.氮沉降对内蒙古典型草原地表节肢动物的影响[J].生态学杂志,2017,36(8):2237-2245.
- [33] Megías A G, Sánchez-Piñero F, Hódar J A. Trophic interactions in an arid ecosystem: from decomposers to top-predators[J]. *Journal of Arid Environments*, 2011, 75(12): 1333-1341.
- [34] 赵哈林,刘任涛,周瑞莲,等.科尔沁沙地灌丛的“虫岛”效应及其形成机理[J].生态学杂志,2012,31(12):2990-2995.
- [35] 张安宁,刘任涛,杨志敏.干旱风沙区灌丛林地地面节肢动物群落对放牧管理的响应[J].应用生态学报,2019,30(11): 1-9.
- [36] 李岳诚,张大治,贺达汉.荒漠景观固沙柠条林地地表甲虫多样性及其与环境因子的关系[J].林业科学,2014,50(5): 109-117.

Short-term effect of afforested shrub plantations on ground-active arthropod communities in desertified regions

Liu Rentao, Zhang Anning

(Breeding Base for the State Key Lab. of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwestern China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The aim of present study was to probe into the effect of afforested plantations in terms of shrub species on ground-active arthropod communities in shifting sand land. The *Artemisia ordosica*, *Hedysarum scoparium*, *Caragana korshinskii*, and *Calligonum mongolicum* shrubs were selected as afforested subjects within straw checkboard, with the adjacent shifting sand land as a control. An investigation on ground-active arthropod community composition, diversity and trophic structure were carried on by the method of pitfall trapping. All the results were shown that: (1) Relative to the control, there was little change of number of taxonomic groups of dominant groups and common groups observed in *A. ordosica*, *H. scoparium*, and *C. korshinskii* plantations, while the number of rare groups increased remarkably. This point was reverse to the that observed in *C. mongolicum* plantations where no individuals of rare groups were captured. (2) The abundance, richness and Shannon index of ground-active arthropods were found to be significantly greater in *A. ordosica* plantations compared with the other three plantations. The biomass of ground-active arthropods was found to be significantly lower in *A. ordosica* plantations compared with the other three plantations. (3) There were four trophic groups observed including predator, phytophaga, saprophage, and omnivores. The abundance and richness of predator and saprophages were found to be highest in *A. ordosica* plantations compared with the other habitats. However, the abundance of phytophaga were found to be highest in *H. scoparium* plantations compared with the other habitats. (4) The abundance of herbaceous plants, soil pH and shrub canopy were the key factors driving the distribution of ground-active arthropod communities between the shifting sand land afforested by different shrub species. It was suggested that there was facilitative effect of *A. ordosica* plantations on ground-active arthropod diversity as well as the abundance and richness of predator and saprophages relative to the other three shrub plantations. In addition, there was a conducive effect of *H. scoparium* plantations on the abundances of phytophaga. Furthermore, there was limited effectiveness of single pure shrub afforestation on biodiversity conservation, while it was suggested that the mixed shrub afforestation played implications on the stability of afforested vegetation on desertification control.

Key words: shifting sand land; shrub plantation; ground-active arthropod; community structure; desertification control