

刘继亮,王永珍,冯怡琳,等.梭梭(*Haloxylon ammodendron*)对流动沙丘地表节肢动物多样性的影响[J].中国沙漠,2026,46(4):333-342.

梭梭(*Haloxylon ammodendron*)对流动沙丘地表节肢动物多样性的影响

刘继亮¹,王永珍¹,冯怡琳²,赵文智¹,何志斌¹,
周晓甘³,赵秀珍³,潘成臣¹

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 干旱区生态安全与可持续发展全国重点实验室,甘肃 兰州 730000;
2.中国科学院成都生物研究所,四川 成都 610213; 3.甘肃农业大学 林学院,甘肃 兰州 730070)

摘要: 干旱、半干旱区人工固沙植被建设及管理驱动植被和土壤环境变化,强烈影响荒漠节肢动物多样性及其生态功能。然而,我们对流动沙丘转变为梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林对地表节肢动物多样性的认识还很有限。以栽植梭梭和未栽植梭梭的流动沙丘为研究对象,运用方差分析和多变量分析等方法定量研究了流动沙丘建植梭梭人工林对地表节肢动物多样性的影响。结果表明:流动沙丘转变为梭梭林强烈影响地表节肢动物群落组成及多样性,这种影响还随着季节变化而变。在群落水平,梭梭人工林建植显著提高了5月和9月荒漠地表节肢动物数量和物种丰富度,还提高了9月地表节肢动物多样性。在营养功能群水平,梭梭人工林建植显著提高了5月和9月杂食性地表节肢动物数量和物种丰富度,仅在5月显著提高了捕食性地表节肢动物的数量和物种丰富度。在种水平,梭梭人工林建植显著提高了5月和9月戈壁琵甲(*Blaps gobiensis*)和东鳖甲属(*Anatolica* sp.) 1种的捕获数量,但显著降低了尖尾东鳖甲(*Anatolica mucronata*)的捕获数量;克氏扁漠甲(*Sternotrigon kraatzi*)和谢氏宽漠王(*Mantichorula semenowi*)在梭梭人工林5月的数量显著提高,艾箭蚁(*Cataglyphis aenescens*)的数量则在9月显著提高。此外,研究还发现这些节肢动物种对流动沙丘或梭梭人工林生境有一定的指示性。总之,流动沙丘地表节肢动物对梭梭人工林建植的响应随着取食类型和季节变化而变,进而改变地表节肢动物群落结构及其功能。

关键词: 流动沙丘; 梭梭(*Haloxylon ammodendron*)人工林; 地表节肢动物多样性; 营养结构; 指示种

文章编号: 1000-694X(2026)04-333-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2025.00294

中图分类号: Q96

文献标志码: A

0 引言

绿洲是中国西北干旱区主要的自然景观类型,人工绿洲主要位于内陆河流域的中下游,是干旱区人类生产和经营活动的主要场所^[1-3]。为了维护人工绿洲的生态安全,绿洲边缘营建了大量乔木和灌木林带,在荒漠和绿洲间形成几百米至几千米的交错带^[1]。荒漠绿洲过渡带主要由灌溉维持的乔木林、雨养的人工灌木林和一些天然荒漠灌木斑块组成,有效地阻挡沙丘移动,降低风沙对绿洲农业生产的危害^[4-5]。近几十年来,随着社会经济的快速发

展,绿洲不断向外扩张,导致大量荒漠和人工林草地转变为灌溉农田,而天然荒漠也会逐步转变为人工林地^[2,6]。随着山水林田湖草沙一体化保护和修复工程实施和河西走廊—塔克拉玛干沙漠边缘阻击战全面展开,大量沙化土地转变为人工固沙植被,进一步降低风沙对人工绿洲的威胁^[7]。人工固沙植被建设不仅会大幅提升植被盖度,还会改善土壤环境,这会影响荒漠动物多样性及其生态功能^[8-10]。然而,人工固沙植被建设对荒漠食物网的关键类群——节肢动物多样性变化的短期和长期影响的认识还很有限。针对人工固沙植被建设对

收稿日期:2025-09-26; 改回日期:2025-12-16

资助项目:内蒙古科技创新重大示范工程“揭榜挂帅”项目(2024JBGS0007);国家自然科学基金项目(41771290,42377043);甘肃省拔尖领军人才项目(E339040101)

作者简介:刘继亮(1979—),男,黑龙江桦南人,副研究员,主要从事干旱区动物生态学研究。E-mail: liujl707@lzb.ac.cn

通信作者:潘成臣(E-mail: panchengchen@lzb.ac.cn)

荒漠节肢动物多样性的影响开展研究,可为人工植被建设及管理提供科学依据和数据支撑。

蜘蛛、甲虫和蚂蚁等节肢动物的个体数量、密度及物种丰富度在荒漠动物中所占比重均较高,它们在植物生长季和非生长季均会存在,是中国西北荒漠食物网中的关键组分^[11-13]。节肢动物不仅作为分解者参与荒漠生态系统凋落物分解和养分循环,还作为捕食者影响微小食物网结构及其功能,也是鸟类、兽类及爬行类重要的食物资源^[14-16]。因而,荒漠节肢动物数量及多样性变化会影响食物网结构及其功能,进而影响荒漠生态系统的健康与稳定。沙障和人工植被栽植均会通过快速改变土壤物理环境影响甲虫等地表节肢动物多样性^[17-18],并通过增加植被盖度,进一步影响了甲虫和蚂蚁等杂食性节肢动物,重构了荒漠食物网结构及其生态功能。人工植被建植还会增加植被盖度并改善土壤环境改变甲虫和蚂蚁等杂食性节肢动物,重构荒漠食物网结构及其生态功能^[10,19-20]。荒漠节肢动物数量及多样性变化还会通过资源上行效应,影响爬行类、兽类和鸟类群落动态及多样性的维持^[8,18]。作者前期已经在张掖绿洲北部边缘建立了新、老梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林及流动沙丘监测样地,解析了爬行类和兽类多样性变化规律^[18]。本文重点关注流动沙丘建植梭梭林幼林对地表节肢动物群落结构的短期影响及其季节变异规律。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于张掖绿洲北部临泽县北部沙区,与巴丹吉林沙漠相接,是开展人工固沙植被恢复对动物多样性影响研究的理想区域。气候属于温带大陆性干旱荒漠气候,冬季降雪和春季降雨稀少并存在明显年季变化,夏秋季降雨增多,多年平均降雨量为117.0 mm,集中在7—9月。年平均温度为7.6℃,年蒸发量高达2 390 mm,干燥度为20.4。2023年降水量远低于多年平均降水量,年平均温度高于多年平均温度。研究区的土壤为风沙土,土壤异质性较高,地下水埋深为4~5 m。天然木本植物以沙拐枣属(*Calligonum*)和白刺属(*Nitraria*)灌木为主,成年泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)和沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)在丘间低地发育成灌丛沙堆。草本植物生长受降水变化的影响较大,草本植

物主要有刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、砂蓝刺头(*Leontopodium leontopodioides*)、斧翅沙芥(*Pugionium dolabratum*)、大果虫实(*Corispermum macrocarpum*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)和芦苇(*Phragmites australis*)等。人工栽植的木本植物二白杨(*Populus gansuensis*)、新疆杨(*Populus alba* var. *pyramidalis*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)和樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongholica*)等组成绿洲边缘的乔木林带,梭梭(*Haloxylon ammodendron*)和一些天然荒漠灌木斑块组成的雨养灌木林带也是绿洲外围主要的固沙植被带。

临泽县北部沙区地处巴丹吉林沙漠向河西走廊延伸的过渡带,20世纪70年代以来,当地通过栽植梭梭等人工固沙植被持续开展荒漠化防治工作。经过40年的生态建设,绿洲边缘的梭梭人工林已形成稳定的自然更新能力,这主要得益于该区域较浅的地下水位。近年来,随着“三北”防护林工程、山水林田湖草沙系统治理以及“蚂蚁森林”等生态项目的持续推进,梭梭人工林的分布范围已突破绿洲边界,逐步向沙漠腹地延伸。在具体治理措施方面,当地采用草方格与物理沙障相结合的固沙技术,在固定沙丘后栽植梭梭幼苗。栽植初期通过人工灌溉保障幼苗成活,后期则依靠自然降水和地下水维持生长。值得注意的是,梭梭人工林的扩展会改变原有天然灌木和草本群落的组成结构,并引发土壤环境的变化,这些变化会通过食物链传导,影响节肢动物和脊椎动物的多样性,进而对整个工林生态系统的健康与稳定性产生深远影响。梭梭人工林内已经观测到亚洲野猫、兔狲、赤狐、虎鼬、亚洲狗獾、环颈雉、红隼和纵纹腹小鸮等多种珍稀荒漠动物栖居、觅食和繁殖^[8]。

1.2 地表节肢动物样品采集及鉴定

在临泽北部沙区选择人为扰动较小的流动沙丘作为研究区,芦苇是主要植物,分布在丘间低地。同时,在流动沙丘附近选择栽植年限在5~10年梭梭人工林作为对照区。流动沙丘和梭梭人工林区分别选择3个相对独立的沙丘作为研究地点,每个沙丘在迎风坡、坡顶和背风坡依据沙丘走向选择30 m×50 m的区域作为地表节肢动物采样区,每个采样区布设5个陷阱收集器,陷阱间距约

10 m。2023年5月下旬和9月中旬收集地表节肢动物样品,每次采样连续收集3 d。陷阱保存液使用75%的酒精溶液,地表节肢动物样品按天收集,这样可以避免风沙活动和脊椎动物破坏陷阱收集器^[11]。采集的地表节肢动物样品参照相关分类书籍鉴定至属或种,少量样品鉴定至科^[21-23]。依据节肢动物食性,将蛛形纲、甲虫和蚂蚁划分为捕食性、植食性和杂食性^[11]。

1.3 数据处理与分析

首先计算流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落组成,优势度划分3个等级(相对多度大于10%时为优势类群,相对多度为1%~10%时为常见类群,相对多度小于1%为稀有类群)。2种生境5月和9月样品合并统计后,计算地表节肢动物物种丰富度的稀度曲线(估计值,基于个体数量和采样数量)。然后将每个采样区5个陷阱合并统计5月和9月2种生境地表节肢动物活动密度(每个采样区捕获的地表节肢动物数量)、物种丰富度(每个采样区捕获的地表节肢动物物种数)、多样性指数(Shannon-Wiener index)和均匀度指数(Pielou's evenness)。依据取食类型划分为捕食者、植食者和杂食者,统计个体数量和物种丰富度。采用二因素方差分析(GLM模型)比较两个采样期流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落、营养类群和主要物种数量差异,然后使用 t 检验分析不同采样期流动沙丘和梭梭人工林间的差异。数据分析前进行对数转化,统计分析使用SPSS21.0软件。

利用二因素PERMANOVA方差分析确定采样期、生境类型及二者交互对地表节肢动物群落组成的影响,单因素PERMANOVA方差分析确定5月和

9月2种生境地表节肢动物群落组成的差异。使用非线性多维标定排序(NMDS)比较5月和9月2种生境间地表节肢动物群落差异(使用每个采样地点5个陷阱合并数据)。排序结果采用胁强系数(stress)衡量NMDS分析结果的优劣,其中 $\text{stress} < 0.01$,完全可信; $0.01 < \text{stress} < 0.05$,可信的; $0.05 < \text{stress} < 0.1$,基本可信; $0.1 < \text{stress} < 0.2$,部分信息不可信; $0.2 < \text{stress} < 0.3$,不可信^[24]。在此基础上,选择SIMPER分析确定5月和9月两种生境地表节肢动物群落组成的平均相异性和主要种的贡献率。此外,使用指示种分析(Indicator species analysis)确定5月和9月主要地表节肢动物种对生境的指示性,统计分析利用PAST4.13软件包^[17]。

2 结果与分析

2.1 流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落组成变化

流动沙丘和梭梭人工林2个采样期共采集2 909头27种地表节肢动物,蛛形纲、鞘翅目和蚁科采集数量分别占2.4%、85.3%和12.3%。拟步甲科中克氏扁漠甲、谢氏宽漠王、尖尾东鳖甲和东鳖甲属1种是优势地表节肢动物;平腹蛛、戈壁琵琶甲、巴丹东鳖甲和4个蚁种是常见地表节肢动物种;稀有地表节肢动物种16种,他们的个体数量占3.9%。基于个体数和陷阱数的稀度曲线估算结果均表明,梭梭人工林地表节肢动物物种丰富度高于流动沙丘(图1)。梭梭人工林捕获的地表节肢动物的数量(1 826头)和物种数(25种)均高于流动沙丘(1 083头和21种)。主要甲虫种中梭梭人工林捕获的戈壁琵琶甲、克氏扁漠甲、谢氏宽漠王、东鳖甲1种和阿小

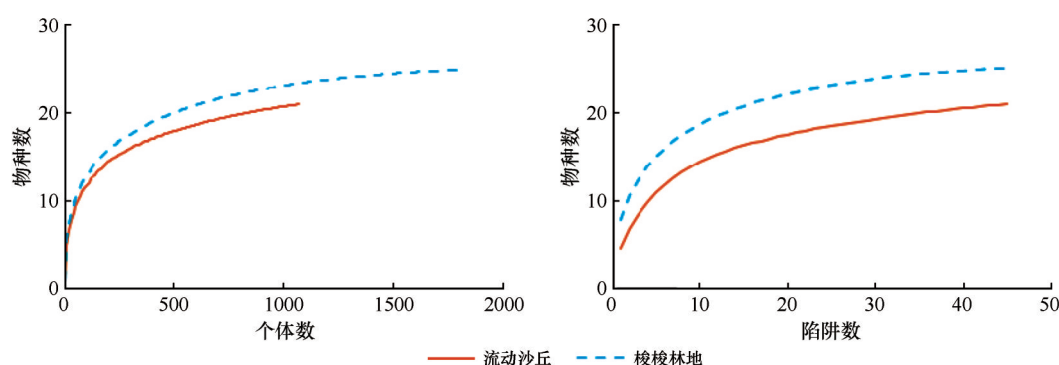


图1 流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物物种丰富度的个体数量和陷阱数量的稀度估算曲线

Fig.1 Estimated species richness of ground arthropods based individual and sample rarefaction in the mobile sandy dunes and *Haloxylon ammodendron* plantations

鳖甲等数量均高于流动沙丘,尖尾东鳖甲和巴丹东鳖甲变化相反。梭梭人工林捕获的稀有地表节肢动物种数量和物种丰富度也高于流动沙丘,蝼蛄甲属1种和阎甲科1种仅在流动沙丘收集到,洛氏脊漠甲、背毛甲1种、深洼齿足象、筒喙象属1种和东亚钳蝎仅在梭梭人工林捕获到。

2.2 流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落结构变化

采样期和生境类型对地表节肢动物群落组成的多元方差分析结果表明,采样期和生境类型对地表节肢动物群落组成有显著影响($F=9.41, P<0.001$;

$F=6.81, P<0.001$),二者的交互对地表节肢动物群落组成也有显著影响($F=0.96, P<0.001$)。NMDS和PERMANOVA分析结果均表明,5月和9月流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落组成明显不同,9月二者之间的差异大于5月(图2)。SIMPER分析结果表明,5月流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落组成的平均相异性为63.9%,戈壁琵琶甲、谢氏宽漠王、尖尾东鳖甲和东鳖甲属1种累积解释了2种生境差异的81.6%。9月流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落组成的平均相异性为82.1%,戈壁琵琶甲、尖尾东鳖甲、东鳖甲属1种、蚁属1种和艾箭蚁累积解释了2种生境差异的80.0%。

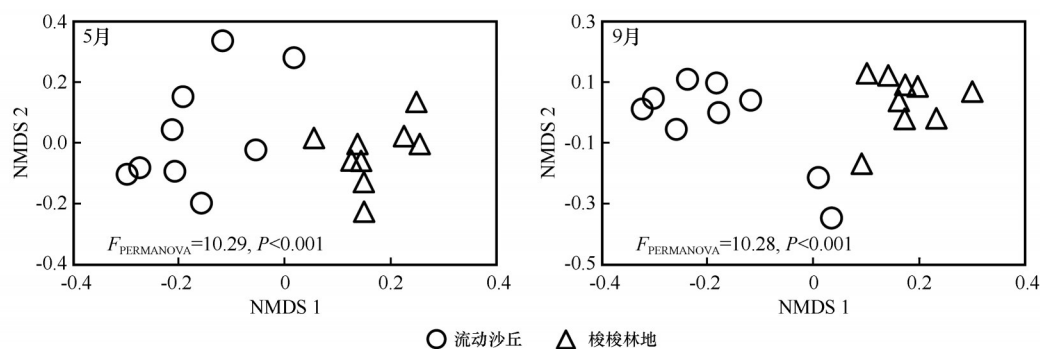


图2 流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物群落组成的非度量多维尺度排序

Fig.2 Non-metric multidimensional scaling (NMDS) plots indicating 2-dimensional distances of ground arthropods of the mobile sandy dunes and *Haloxylon ammodendron* plantations

5月和9月两个采样期地表节肢动物数量、物种丰富度和均匀度指数存在显著差异,流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物数量、物种丰富度和多样性指数存在显著差异,采样期和生境类型交互对4个地表节肢动物群落参数的影响均较小(表1)。梭梭人工林与流动沙丘相比,显著提高了5月和9月地表节肢动物捕获数量和物种丰富度,5月和9月梭梭人工林捕获地表节肢动物数量是流动沙丘的1.7倍和1.7倍(图3)。梭梭人工林建植还提高了地表节肢动物多样性指数,其中9月梭梭人工林地表节肢动物多样性指数显著高于流动沙丘;梭梭人工林建植对地表节肢动物均匀度指数影响较小。

2.3 流动沙丘和梭梭人工林地表节肢动物营养结构变化

生境类型对捕食性节肢动物数量和物种丰富度有显著影响,采样期和生境类型对杂食性节肢动物数量和物种丰富度均有显著影响,二者对植食性

节肢动物数量和物种丰富度的影响较小(表1)。5月梭梭人工林捕食性节肢动物数量捕获数量和物种丰富度均显著高于流动沙丘,9月二者的差异不显著(图4)。5月梭梭人工林捕获捕食性节肢动物数量和物种丰富度是流动沙丘的2.6倍和2.5倍。5月和9月梭梭人工林杂食性节肢动物捕获数量和物种丰富度均显著高于流动沙丘,5月梭梭人工林捕获杂食性节肢动物数量和物种丰富度是流动沙丘的1.7倍和1.4倍,9月梭梭人工林捕获杂食性节肢动物数量和物种丰富度是流动沙丘的1.7倍和1.7倍(图4)。

2.4 流动沙丘和梭梭人工林主要地表节肢动物数量变化

主要地表节肢动物种中6个拟步甲科种和1个蚁种对生境类型变化响应敏感,其中克氏扁漠甲、谢氏宽漠王和艾箭蚁数量对生境类型变化的响应还随着采样期的变化而变(表1)。5月和9月梭梭人工林捕获的戈壁琵琶甲和东鳖甲属1种的数量均显

表 1 采样期和生境类型对地表节肢动物群落、营养结构和主要种影响的二因素方差分析结果

Table 1 Results of two-way ANOVA of variance of sampling periods and habitat types effected on community structure, trophic structure, and dominant species of ground arthropods

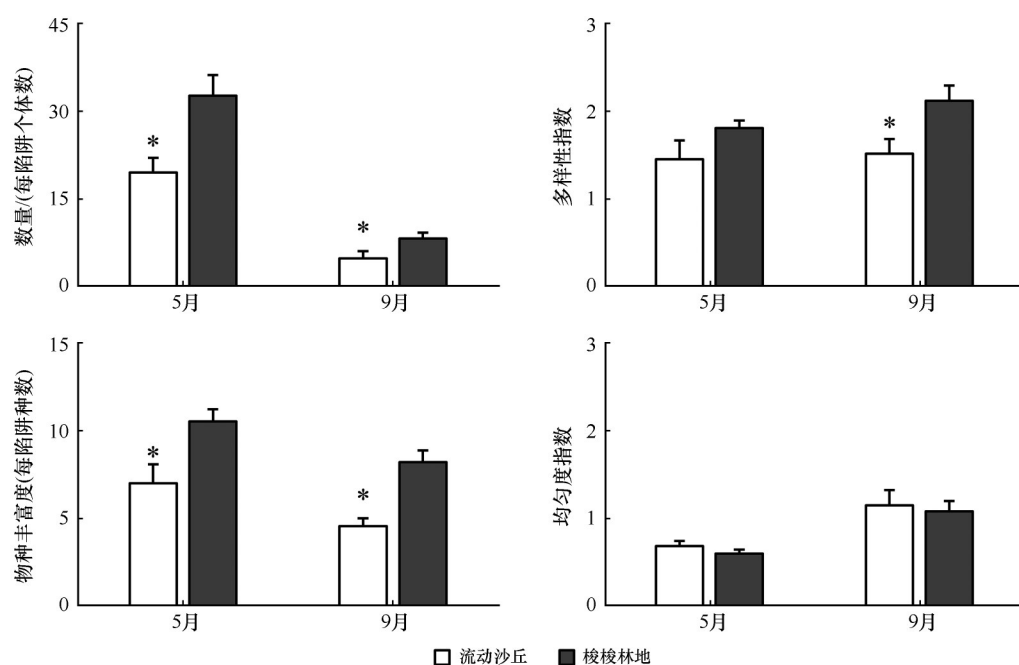
分类	项目(物种)	采样期(SP)		生境类型(HT)		SP×HT	
		<i>F</i> _{1,36}	<i>P</i>	<i>F</i> _{1,36}	<i>P</i>	<i>F</i> _{1,36}	<i>P</i>
地表节肢动物	数量	99.89	<0.001	16.07	<0.001	0.04	0.849
	物种丰富度	9.79	0.004	27.79	<0.001	0.24	0.626
	多样性	1.3	0.263	9.28	0.005	0.27	0.608
	均匀度	18.87	<0.001	0.39	0.535	0.04	0.836
捕食者	数量	3.20	0.083	7.79	0.009	1.21	0.281
	物种丰富度	0.89	0.353	12.97	<0.001	0.89	0.353
植食者	数量	0.85	0.363	3.04	0.091	0.52	0.478
	物种丰富度	1.40	0.246	2.56	0.119	0.82	0.372
杂食者	数量	96.02	<0.001	14.20	<0.001	0.02	0.890
	物种丰富度	9.26	0.005	20.17	<0.001	0.89	0.351
主要地表节肢动物种	戈壁琵琶甲 <i>Blaps gobiensis</i>	2.46	0.127	37.40	<0.001	0.01	0.975
	克氏扁漠甲 <i>Sternotrigon kraatzi</i>	142.09	<0.001	118.99	<0.001	99.12	<0.001
	谢氏宽漠王 <i>Mantichorula semenowi</i>	153.80	<0.001	13.50	<0.001	13.50	<0.001
	尖尾东鳖甲 <i>Anatolica mucronata</i>	83.26	<0.001	24.66	<0.001	0.04	0.852
	东鳖甲属 <i>Anatolica</i> sp.	42.57	<0.001	70.47	<0.001	0.25	0.621
	巴丹东鳖甲 <i>Anatolica badainica</i>	2.02	0.165	6.17	0.018	0.79	0.380
	平腹蛛 <i>Gnaphosa</i> spp.	0.01	0.938	3.22	0.082	0	1.000
	荒漠收获蚁 <i>Messor desertora</i>	2.45	0.128	2.45	0.128	2.45	0.128
	蚁属 1 种 <i>Formica</i> sp.	4.91	0.034	0.003	0.958	0.04	0.843
	透明箭蚁 <i>Cataglyphis pallida</i>	5.16	0.030	0.80	0.377	0.03	0.866
	艾箭蚁 <i>Cataglyphis aenescens</i>	7.89	0.008	7.25	0.011	6.63	0.015

著高于流动沙丘,尖尾东鳖甲和巴丹东鳖甲的变化趋势相反(表2)。5月梭梭人工林谢氏宽漠王和克氏扁漠甲的数量显著高于流动沙丘,但9月二者在梭梭人工林和流动沙丘捕获的数量相差较小;9月梭梭人工林艾箭蚁的数量显著高于流动沙丘,但5月差异较小。指示种分析结果表明,5月谢氏宽漠王、克氏扁漠甲和东鳖甲属 1 种可以用于指示梭梭人工林;9月尖尾东鳖甲可以用于指示流动沙丘,戈壁琵琶甲和东鳖甲属 1 种可以用于指示梭梭人工林(表2)。

3 讨论

梭梭是在中亚干旱区广泛分布的乔木型灌木种,是人工固沙植被建设中使用较多的植物。自然降水和地下水是影响梭梭人工林退化和自然更新

关键因子,梭梭人工林一般在 20 年左右会逐步出现衰退和生态功能下降^[25]。绿洲边缘建植梭梭林在 20 年以上盖度也会下降,但人工植被群落结构会相对稳定,也能实现自然更新^[9,26]。拟步甲科和蚁科两类杂食性节肢动物随着梭梭林恢复在 20 年以上也会发生变化,但二者对梭梭林建植的响应模式不同^[10]。本文研究发现,无灌木分布的流动沙丘,梭梭建立在短期内(10 年内)也会降低地表节肢动物数量、物种丰富度和多样性指数,这与爬行类和兽类的变化趋势略有不同^[8]。人工沙障建设会增加土壤硬度并改变土壤物理结构影响荒漠拟步甲科甲虫的栖居和繁殖,而植被盖度增加又会提高食物资源的数量及质量并增加躲避极端环境和天敌捕食小生境,从而提高地表节肢动物的数量及多样性^[17-18,27-28]。此外,一些研究也发现荒漠中天然和梭



注: *表示差异显著, $P < 0.05$

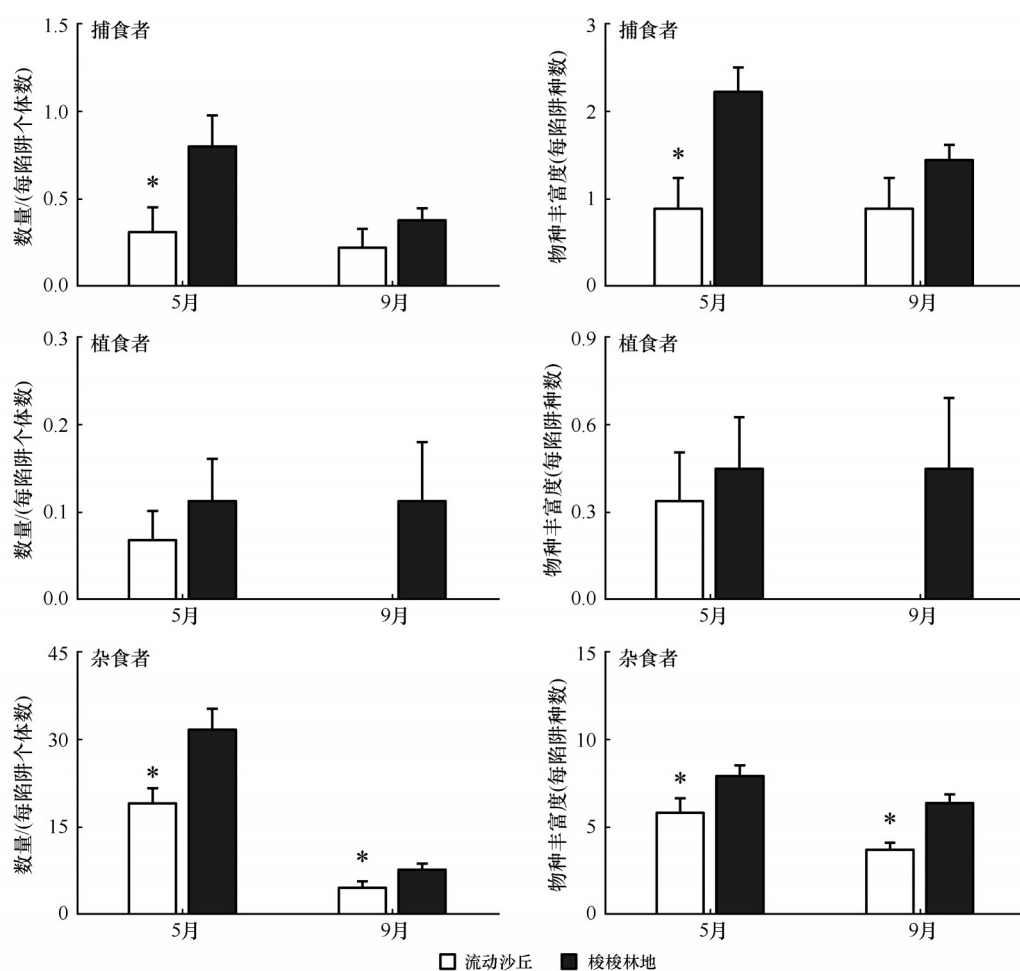
图3 流动沙丘和梭梭人工林地地表节肢动物数量、物种丰富度、多样性指数和均匀度指数比较

Fig.3 The abundance, species richness, diversity and evenness index of ground arthropods between mobile sandy dunes and *Haloxylon ammodendron* plantations

梭人工林之间甲虫群落结构也会存在差异,这与植被群落结构变化有关^[29]。然而,随着灌木盖度的增加和灌木种的变化,一些在流动沙丘分布的甲虫种的数量也会随之下降,从而降低地表节肢动物的数量及多样性^[10,17]。流动沙丘分布的甲虫种对土壤硬度和质地等物理环境变化的响应十分敏感^[27],人工植被建设引起土壤物理环境的快速变化导致这些甲虫种向沙丘顶部迁移甚至消失^[17-18]。人工梭梭栽植还会提高植被盖度,增加栖居和繁殖生境,从而提高了蜘蛛和蚂蚁等节肢动物多样性^[10,20]。梭梭人工林恢复还会通过增加食物资源,提高爬行类和兽类的数量及多样性,增加了食物链长度和食物网的复杂性^[8]。总之,流动沙丘建植梭梭林会提升蜘蛛、甲虫和蚂蚁等节肢动物的数量及多样性,促进了爬行类和兽类的栖居和繁殖。

梭梭人工林建立会驱动土壤微生物和线虫等土壤生物多样性和营养结构发生变化,从而驱动土壤微小食物网结构及其功能转变^[30-31]。然而,土壤水分有效性是限制荒漠螨类、跳虫、线虫和原生动物等中小型土壤动物及微生物活动的关键因子,土壤微小食物网结构及其功能对人工固沙植被恢复的响应还受降水调控,而大型节肢动物更耐干旱,它们对植被恢复的响应会更敏感^[31-33]。本文研究也

发现,地表节肢动物营养结构对人工植被恢复的响应也十分敏感,这种变化不仅会影响脊椎动物多样性,也会通过扰动土壤影响微小食物网结构及其功能^[34-35]。地表节肢动物的食性及种间差异是影响其对人工植被建设驱动植被和土壤环境变化响应的主要因素。流动沙丘建植梭梭人工林短期内会提高不同营养级节肢动物的数量及多样性,捕食性和杂食性节肢动物对植被恢复的响应较植食性节肢动物更敏感。梭梭人工林与流动沙丘相比,不仅提高了食物资源的数量及质量,还提高了躲避温度胁迫和天敌捕食的小生境质量,这有利于捕食性和杂食性节肢动物的栖居和繁殖^[17,27]。然而,植食性节肢动物对梭梭人工林建植的响应不敏感,这可能与这些表栖植食性甲虫对植物种的选择不同有关。梭梭植株上植食性节肢动物可能会随着梭梭栽植的年限的增加而增多,梭梭人工林恢复后期捕食性节肢动物及鸟类和兽类控害功能下降,这会危害梭梭人工林的健康和稳定^[8,36]。人工固沙植被恢复过程中增加木本植物多样性,提高了不同营养级捕食者的控害功能,这有利于维持人工固沙植被的健康和稳定^[8,37-38]。因而,流动沙丘建植梭梭人工林不仅会提高杂食性节肢动物的数量及多样性,植食性和捕食性节肢动物多样性也会发生变化。



注: *表示差异显著, $P < 0.05$

图4 流动沙丘和梭梭人工林捕食者、植食者和杂食者节肢动物数量和物种丰富度比较

Fig.4 The abundance and species richness of predators, herbivores, and omnivores between mobile sandy dunes and *Haloxylon ammodendron* plantations

拟步甲科和蚁科等主要杂食性节肢动物对流动沙丘建植梭梭林的响应较敏感,但他们的响应模式也会因生物学特征不同而异,还会随着季节变化而变。戈壁琵甲和克氏扁漠甲等6种拟步甲科对流动沙丘建植梭梭人工林响应均十分敏感,其中克氏扁漠甲和谢氏宽漠王的响应存在明显的季节变异。流动沙丘建植梭梭林显著降低5月克氏扁漠甲和谢氏宽漠王的捕获数量,而秋季随着二者捕获数量的下降,它们对梭梭林恢复的响应不敏感。谢氏宽漠王对沙丘土壤硬度等物理性状变化的响应十分敏感,梭梭人工林恢复会导致土壤硬度增加,从而降低二者的捕获数量或是驱动他们向沙丘顶部迁移^[17-18,39-40]。尖尾东鳖甲和巴丹东鳖甲与谢氏宽漠王的变化规律相近,流动沙丘建植梭梭林显著降低5月和9月的捕获数量。克氏扁漠甲与谢氏宽漠王变化趋势相反,流动沙丘建植梭梭林会提高在5

月的捕获数量,这可能与灌木存在提高了资源数量和天敌捕食强度下降有关^[28,41-42]。戈壁琵甲和东鳖甲属变化趋势一致,流动沙丘建植梭梭人工林均会提高捕获数量。蚁科是荒漠中另一大杂食性节肢动物类群,流动沙丘建植梭梭林仅增加了9月透明箭蚁和艾箭蚁的捕获数量,而对其他蚁种的影响较小。荒漠拟步甲科主要在春夏季活动,而蚁科则偏好在夏秋季活动,蚁科的活动受灌木生活史变化影响较大,他们对梭梭人工林恢复的响应模式不同^[12-13]。此外,梭梭人工林恢复阶段还会对拟步甲科和蚁科的响应模式有一定影响,拟步甲科在梭梭林恢复初期响应较敏感,而蚁科则在梭梭林恢复后期响应较敏感^[10]。

4 结论

流动沙丘建植梭梭林,较短时间内(5~10年)即

表 2 流动沙丘和梭梭人工林主要地表节肢动物物种数量比较

Table 2 The abundance of Dominant arthropod species between mobile sandy dunes (MSD) and *Haloxylon ammodendron* plantations (HAP) in May and September

主要地表节肢动物种	5月		9月	
	流动沙丘	梭梭林地	流动沙丘	梭梭林地
戈壁琵琶 Blaps gobiensis	0.11±0.05 ^b	0.91±0.21 ^a	0.27±0.07 ^b	1.13±0.18 ^{a*}
克氏扁漠甲 Sternotrigon kraatzi	0.24±0.16 ^b	6.64±1.02 ^{a*}	0±0 ^a	0.09±0.04 ^a
谢氏宽漠王 Mantichorula semenowi	2.87±0.73 ^b	10.36±2.78 ^{a*}	0±0 ^a	0±0 ^a
尖尾东鳖甲 Anatolica mucronata	11.07±2.61 ^a	4.22±0.73 ^b	1.62±0.36 ^{a*}	0.11±0.08 ^b
东鳖甲属 1 种 Anatolica sp.	1.84±0.33 ^b	7.76±1.25 ^{a*}	0.31±0.11 ^b	2.71±0.61 ^{a*}
巴丹东鳖甲 Anatolica badainica	0.87±0.48 ^a	0.07±0.05 ^a	0.22±0.11 ^a	0±0 ^b
平腹蛛 Gnaphosa spp.	0.11±0.06 ^a	0.29±0.15 ^a	0.11±0.07 ^a	0.24±0.06 ^a
荒漠收获蚁 Messor desertora	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0.76±0.61 ^a
蚁属 1 种 Formica sp.	0.11±0.09 ^a	0.07±0.05 ^a	1.78±1.29 ^a	1.07±0.63 ^a
透明箭蚁 Cataglyphis pallida	1.22±0.93 ^a	0.98±0.42 ^a	0±0 ^b	0.20±0.06 ^a
艾箭蚁 Cataglyphis aenescens	0.16±0.10 ^a	0.16±0.07 ^a	0.20±0.13 ^b	1.29±0.36 ^a

注：* 代表重要指示物种，由指示物种分析确定；不同小写字母表示差异显著， $P<0.05$ 。

可显著改变地表节肢动物群落的组成结构和多样性特征。地表节肢动物群落组成对梭梭人工林建植的响应存在明显的季节变异，9月流动沙丘与梭梭人工林的地表节肢动物群落差异程度明显高于5月。流动沙丘梭梭人工林建植能够快速提升植被覆盖度和植物多样性，这种改变主要通过以下途径促进地表节肢动物群落的恢复：一是增加了可利用的食物资源，二是改善了栖息环境条件，最终使得节肢动物个体数量、物种丰富度和多样性指数均得到显著提高。从营养功能群的角度分析发现：植食性类群对梭梭人工林建设的响应不显著；捕食性类群仅在5月表现出明显的响应；而杂食性类群则表现出持续的敏感性，且这种响应模式不受季节变化的影响。具体到物种水平，大多数杂食性节肢动物种类对梭梭人工林建设呈现正向响应，且这种响应存在季节性变化特征；与此形成鲜明对比的是，尖尾东鳖甲对该人工植被建设表现出明显的负响应。总之，流动沙丘建植梭梭林会提升地表节肢动物数量及多样性，但也会导致一些荒漠种的数量下降，这会重塑地表节肢动物营养结构及其功能。

参考文献：

[1] 常学礼,韩艳,孙小艳,等.干旱区绿洲扩展过程中的景观变化分析[J].中国沙漠,2012,32(3):857-862.

[2] 钱大文,巩杰,贾珍珍.绿洲化-荒漠化土地时空格局变化对

比研究:以黑河中游临泽县为例[J].干旱区研究,2016,33(1):80-88.

[3] 赵文智,杨荣,刘冰,等.中国绿洲化及其研究进展[J].中国沙漠,2016,36(1):1-5.

[4] 常学礼,季树新,乔荣荣,等.基于NDVI绿洲-荒漠过渡带宽度识别:以河西走廊中部荒漠绿洲为例[J].生态学报,2020,40(15):5327-5336.

[5] Zhao W Z, Chang X L.The effect of hydrologic process changes on NDVI in the desert-oasis ecotone of the Hexi Corridor[J]. Science China Earth Sciences,2014,57(12):3107-3117.

[6] Zhang Y Y, Wang L X, Zhao W Z, et al.Rapid global artificial oasis expansion and consequences in arid regions over the last 20 years.Science Bulletin,2025,70(12):1949-1952.

[7] 冯起,白光祖,李宗省,等.加快构建西北地区生态保护新格局[J].中国科学院院刊,2022,37(10):1457-1470.

[8] 刘继亮,冯怡琳,王永珍,等.黑河中游人工固沙植被恢复对爬行类和兽类动物多样性的影响[J].中国沙漠,2024,44(6):167-177.

[9] 周晓甘,罗永忠,马全林,等.梭梭人工林建植对荒漠土壤特征的长期影响[J].中国沙漠,2025,45(5):68-77.

[10] Wang Z T, Liu J L, Luo Y Z, et al.Changes in tenebrionid beetle and ant assembly influenced by different-aged *Haloxylon ammodendron* plantations in Northwest China[J].Land Degradation & Development,2025,36(9):2940-2954.

[11] 刘继亮,李锋瑞,刘七军,等.黑河流域干旱荒漠土壤动物群落组成与多样性的季节变异[J].中国沙漠,2010,30(2):342-349.

[12] Ren J L, Feng Y L, Wang Y Z, et al.Spatial and temporal distribution patterns of ants (Hymenoptera:Formicidae) in gobi desert ecosystems, Northwest China[J].Research in Cold and Arid

- Regions, 2024, 16(5): 229–238.
- [13] Ren J L, Zhao W Z, Feng Y L, et al. Temporal and spatial dynamics of tenebrionid beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) in the gobi desert, Northwest China [J]. Journal of Arid Land, 2025, 17: 112–129.
- [14] Polis G. Complex trophic interactions in deserts: an empirical critique of food-web theory [J]. The American Naturalist, 1991, 138(1): 123–155.
- [15] Vonshak M, Dayan T, Kronfeld-Schor N. Arthropods as a prey resource: patterns of diel, seasonal, and spatial availability [J]. Journal of Arid Environments, 2009, 73(4/5): 458–462.
- [16] Sagi N, Hawlena D. Arthropods as the engine of nutrient cycling in Arid Ecosystems [J]. Insects, 2021, 12(8): 726.
- [17] 刘继亮, 巴义彬, 牛瑞雪, 等. 河西走廊天然固沙植被区地表甲虫多样性及其对沙漠化的指示作用 [J]. 生态学报, 2021, 41(13): 5435–5445.
- [18] 王永珍, 林永一, 冯怡琳, 等. 沙障对流动沙丘区地表节肢动物分布及多样性的影响 [J]. 生态学报, 2022, 42(16): 6768–6777.
- [19] Ren J L, Wang Y Z, Zhou X G, et al. *Haloxylon ammodendron* plantations: enhancing multi-trophic arthropod diversity and soil multifunctionality in arid deserts [J]. Journal of Environmental Management, 2025, 393: 127140.
- [20] Pan C C, Wang Z T, Wang Y Z, et al. Long-term impact of *Haloxylon ammodendron* plantations on the trophic structure of ground arthropods in a desert-oasis ecotone [J]. Global Ecology and Conservation, 2025, 62: e03786.
- [21] 任国栋, 于有志. 中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫 [M]. 河北保定: 河北大学出版社, 1999.
- [22] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类 [M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999.
- [23] Song D X, Zhu M S, Chen J. The Spiders of China [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 1999.
- [24] Clarke K R, Gorley R N. PRIMER v6: user manual/tutorial (Plymouth routines in multivariate ecological research) [Z]. Plymouth: Primer-E Ltd, 2006.
- [25] Huang N, Li X Y, Liu H Y, et al. Effects of stand structure on ecological benefits and tree growth of *Haloxylon ammodendron* plantations: a meta-analysis [J]. Land Degradation & Development, 2024, 35: 4406–4418.
- [26] Zheng Y, Zhao W Z, Zhang G F. Spatial analysis of a *Haloxylon ammodendron* plantation in an oasis-desert ecotone in the Hexi corridor, northwestern China [J]. Forests, 2017, 8: 200.
- [27] Liu J L, Zhao W Z, Li F R. Effects of shrub presence and shrub species on ground beetle assemblages (Carabidae, Curculionidae and Tenebrionidae) in a sandy desert, northwestern China [J]. Journal of Arid Land, 2015, 7: 110–121.
- [28] Groner E, Ayal Y. The interaction between bird predation and plant cover in determining habitat occupancy of darkling beetles [J]. Oikos, 2001, 93(1): 22–31.
- [29] Batchuluun B, Wunderlich J, Schmitt M. Diversity of beetles (Coleoptera) in natural and planted saxaul forests (*Haloxylon ammodendron*) in the South Gobi Desert, Mongolia [J]. ZooKeys, 2020, 1000: 59–70.
- [30] 安芳娇, 苏永中, 牛子儒, 等. 干旱区荒漠绿洲过渡带建植梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 林后土壤线虫群落演变 [J]. 中国沙漠, 2024, 44(2): 133–142.
- [31] 安芳娇, 牛子儒, 刘婷娜, 等. 西北荒漠绿洲过渡带土壤细菌结构和氮代谢对梭梭恢复的响应 [J]. 生态学报, 2023, 43(20): 8454–8464.
- [32] Freekman D W, Whitford W G, Steinberger Y. Effect of irrigation on nematode population dynamics and activity in desert soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 1987, 3(1/2): 3–10.
- [33] Whitford W G. Abiotic controls on the functional structure of soil food webs [J]. Biology and Fertility of Soils, 1989, 8: 1–6.
- [34] Ferguson S H, Joly D O. Dynamics of springtail and mite populations: the role of density dependence, predation, and weather [J]. Ecological Entomology, 2002, 27(5): 565–573.
- [35] Decker O, Egidi E, Hopkins A J, et al. Reintroduction of threatened digging mammals influences soil microbial communities differently along a rainfall gradient [J]. Pedobiologia, 2023, 9–10: 150889.
- [36] Feng Y L, Wang Y Z, Ren J L, et al. Ground arthropod assemblages shaped by ant nests and shrub microhabitats in Gobi Desert ecosystems [J]. Applied Soil Ecology, 2025, 202: 106118.
- [37] Kang N, Guo J, Jiang L, et al. Biology, parasitoid complex and potential distribution of saxaul's dominant defoliators, *Teia dubia* (Lepidoptera: Lymantriidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 2022, 112: 162–170.
- [38] Feng Q, Li R, Liu J L, et al. Ground-dwelling arthropod community response to native grassland conversion in a temperate desert of northwestern China [J]. Journal of Insect Conservation, 2015, 19: 105–117.
- [39] 张大治, 于有志, 任建治. 谢氏宽漠王的生物学特性及行为 [J]. 昆虫知识, 2003, 40(4): 334–339.
- [40] 吕昭智, 钟晓英, 苏延乐, 等. 中华漠王 *Platyope proctoleuca chinensis* (鞘翅目: 拟步甲科) 对微生境的选择 [J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2199–2203.
- [41] Ayal Y. Trophic structure and the role of predation in shaping hot desert communities [J]. Journal of Arid Environments, 2007, 68(2): 171–187.
- [42] Liu J L, Li F R, Liu C A, et al. Influences of shrub vegetation on distribution and diversity of a ground beetle community in a gobi desert ecosystem [J]. Biodiversity and Conservation, 2012, 21: 2601–2619.

Effects of *Haloxylon ammodendron* afforestation on ground arthropod diversity in mobile sand dunes

Liu Jiliang¹, Wang Yongzhen¹, Feng Yilin², Zhao Wenzhi¹, He Zhibin¹,
Zhou Xiaogan³, Zhao Xiuzhen³, Pan Chengchen¹

(1.State Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2.Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610213, China; 3.College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Artificial sand-fixing vegetation establishment and management in arid and semi-arid regions drive significant changes in vegetation and soil environments, profoundly influencing desert arthropod diversity and ecological functions. However, our understanding of how the conversion of mobile sand dunes to *Haloxylon ammodendron* plantations affects ground arthropod diversity remains limited. This study compared arthropod communities between *Haloxylon*-planted and non-planted mobile dunes using ANOVA and multivariate analyses. Our results demonstrate that *H. ammodendron* afforestation significantly altered the community composition and trophic structure of ground arthropods, with these effects exhibiting distinct seasonal variations. At community level, the establishment of *H. ammodendron* plantations significantly increased arthropod abundance and species richness in May and September. Moreover, diversity indices of ground arthropods showed significant improvement only in September. At trophic group level, omnivores exhibited significant increased abundance and richness in both sampling periods, while predators showed significant increases only in May. At species level, *Blaps gobiensis* and *Anatolica* sp. showed positive responded patterns both sampling periods, and an opposite pattern on *A. mucronata*. Furthermore, *Sternotrigon kraatzi* and *Mantichorula semenowi* showed positive responded patterns only in May, and *Cataglyphis aenescens* showed a positive responded patterns only in September. In addition, several species demonstrated significant habitat indicator values for mobile sandy dunes or *H. ammodendron* plantations. Collectively, our findings demonstrate that young plantation in mobile sandy dunes induces taxon-specific and seasonally-dependent responses among ground arthropods, ultimately reshaping community structure and functional dynamics in this desert ecosystem.

Key words: mobile sandy dunes; *Haloxylon ammodendron* plantations; ground arthropod diversity; trophic structure; indicator species