

土壤因子对莫索湾梭梭林林下植被分布和多样性的影响

丁改改^{1,2}, 蒋进¹, 宋春武¹, 李亚萍^{1,2}

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: [目的] 研究土壤因子对古尔班通古特沙漠西南缘莫索湾地区天然梭梭林、天然—人工梭梭林、人工梭梭林林下植被分布和物种多样性的影响, 为该区物种多样性保护提供理论依据。[方法] 采用典范对应分析法 (canonical correspondence analysis, CCA) 和广义加型模型 (generalized additive model, GAM) 分析了 6 个土壤因子 (共 8 个指标) 与物种分布和多样性之间的关系。[结果] (1) 土壤水分、电导率、pH 值和生物结皮的发育是影响植物分布的主要土壤因子。刺沙蓬和狭果鹤虱主要分布在土壤水分和电导率较高的林地, 细裂补血草分布在高 pH 值环境中, 虫实分布在土壤水分和电导率较低, 同时生物结皮发育较好的林地, 甘新念珠芥和滨藜对环境的适应能力较强, 各生境均有分布, 自然更新的梭梭幼苗分布随着土壤水分、电导率降低和生物结皮增加相对重要值逐渐增大; (2) 土壤水分、电导率、pH 值和土壤质地是影响物种多样性的主要因素。物种多样性指数与土壤水分和粉粒含量呈极显著正相关 ($p < 0.01$), 与电导率和 pH 值呈极显著负相关 ($p < 0.01$), 在土壤水分较低的环境条件下 (2.19%~6.28%), 土壤水分是影响多样性指数的最主要因子, 当土壤水分 $> 8.0\%$ 时, 多样性指数趋于稳定, 同时, 土壤 pH 值 > 9.0 时, 多样性指数有明显下降趋势。[结论] 梭梭林林下植被的分布和物种多样性是由土壤水分、电导率和土壤质地为主的多种土壤因子综合作用的结果。

关键词: 植被分布; 物种多样性; 土壤水分; 土壤电导率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)04-0020-07

中图分类号: Q948

文献参数: 丁改改, 蒋进, 宋春武, 等. 土壤因子对莫索湾梭梭林林下植被分布和多样性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 20-26. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.004; Ding Gaigai, Jiang Jin, Song Chunwu, et al. Effects of soil conditions on undergrowth species distribution and diversity in *Haloxylon Ammodendron* forest in Mosuowan[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 20-26. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.004

Effects of Soil Conditions on Undergrowth Species Distribution and Diversity in *Haloxylon Ammodendron* Forest in Mosuowan

DING Gaigai^{1,2}, JIANG Jin¹, SONG Chunwu¹, LI Yaping^{1,2}

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] The effects of soil conditions on species distribution and diversity under *Haloxylon ammodendron* Forest were researched to provide references for biodiversity preservation. [Methods] Methods of canonical correspondence analysis and generalized additive model were used to analyze the effects of soil factors on species distribution and diversity under *Haloxylon ammodendron* forest in Mosuowan. The forest is located in the southwest of Gurbantunggut Desert, have three types as natural, natural-artificial and artificial *Haloxylon ammodendron* forests. [Results] (1) Soil water (SW), electrical conductivity (EC) and biological crust were the main factors of species distribution. *Salsola ruthenica* and *Lappula semiglabra* tend to distribute in high levels of soil water and electrical conductivity; whereas *Timonium leptolobum* prefer growing in soil with high pH value, for *Corispermum hyssopifolium*, conditions of low soil water and electrical conductivity, and of having biological crust, were seemed to be more preferable. *Neotorularia korolkowii*

收稿日期: 2017-01-05

修回日期: 2017-02-13

资助项目: 国家科技支撑计划项目子课题“特殊困难立地防风固沙体系营建技术研究”(Y512051001)

第一作者: 丁改改(1991—), 女(汉族), 新疆自治区阜康市人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠区土壤水分及植物多样性。E-mail: gai_gaigai@163.com.

通讯作者: 蒋进(1959—), 男(汉族), 湖南省长沙市人, 学士, 研究员, 主要从事荒漠环境治理与绿洲生态建设研究工作。E-mail: jiangjin@ms.xjb.ac.cn.

and *Atriplex patens* have good adaptability and can establish and distribute in all three forests. Natural regeneration of *Haloxylon ammodendron* was found increased with the decreases of SW and EC, increased with the increase of biological crust. (2) SW, EC, pH value and soil structure were the main influence factors of diversity. There were high significant positive correlations ($p < 0.01$) between species diversity indices and contents of SW and silt, and there were significant negative correlation ($p < 0.01$) between species and values of EC and pH. Under the condition of low soil water, about 2.19% and 6.28%, soil water was found to be the most factor that influence species diversity. When $SW > 8\%$, species diversity tend to be stable when SW increase. Species diversity decline obviously when pH value > 9.0 . [Conclusion] Undergrowth species distribution and diversity in *Haloxylon ammodendron* forest was influenced by a variety of soil factors, in which SW and EC played the most important role.

Keywords: species distribution; diversity; soil water; electrical conductivity

林下草本植被是森林生态系统的重要组成部分,虽然所占生物量比例较低,但在森林生态系统中的重大作用不可忽视:是恢复森林植被的重要手段;影响森林的能量流动和乔木物种幼苗的更新和萌生;对立地条件具有指示作用;维持森林物种多样性等^[1-2]。林下植物的生长、分布和多样性不仅受到森林树种组成、密度和林冠遮阴的影响,还受到环境因子的制约^[3]。气候和地貌在区域尺度上是影响植物分布和多样性的主导因素,而土壤因子在群落尺度上起着决定作用^[4-5]。植物多样性恢复是植被恢复过程中的直接体现,揭示植物分布与土壤因子和物种多样性之间的关系,有助于了解不同生境植被的演替方向,对荒漠区和退化区生态系统的人工恢复和重建具有重要的理论和实践意义^[6-9]。

莫索湾位于古尔班通古特沙漠西南缘,东、北、西三面为沙漠环抱,呈现出绿洲带与沙漠带交替分布的格局,是中国梭梭荒漠的典型区域之一^[10],由固定、半固定以及流动的沙丘、沙地组成。地带性土壤属于荒漠灰钙土,但自绿洲开垦以来,土壤理化性质发生改变,土壤演变成多种灌溉耕作土。1984年起为防治沙漠化的进一步蔓延,改善沙漠边缘生态环境,保障人民生活 and 农业生产,在此营造了大量的人工梭梭林,使该区梭梭林格局由东北天然梭梭林向西南人工梭梭林逐渐过渡。同时,人工林的营建进一步影响了土壤环境,从而改变了植物的分布、定居和多样性。由于该区属沙质荒漠生态系统,立地条件不稳定、生物区系组成贫乏、结构简单,植被的分布和多样性对于稳定当地荒漠生态环境至关重要。莫索湾地区以往的研究工作主要集中在梭梭林土壤水分变化^[11]、梭梭群落分布特性等^[12]方面,进一步定量地研究人工造林恢复该区生态环境后从天然梭梭林到人工梭梭林林下植被分布和物种多样性与土壤因子的关系具有重要科学意义。本文在对该地区梭梭林详细调查的基础上,采用典范对应分析法(canonical correspondence analysis, CCA)确定影响林下植物分布变

化的关键土壤因子^[13],同时,用广义加型模型(generalized additive model, GAM)分析物种多样性指数与关键土壤因子的回归关系,以期量化解释土壤因子对不同梭梭林林下植被物种多样性的影响,为莫索湾地区植物多样性保护提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究在古尔班通古特沙漠西南缘莫索湾梭梭林内进行,地理坐标为 $45^{\circ}07'N, 86^{\circ}01'E$,海拔高度为 308~358 m。该区域属典型的大陆干旱荒漠气候,年平均气温为 $4\sim 6^{\circ}C$,最高气温集中在 7 月,平均可达 $22\sim 26^{\circ}C$;年平均降雨量为 114.89 mm,主要集中在 4—6 月,年蒸发量 1 942.1 mm。冬季有稳定积雪,平均厚度约为 13 cm 左右,最厚可达 27 cm,3 月融化,使春季土壤含水量增加。风季为春夏两季,最大风速达 20 m/s。地带性土壤属荒漠灰钙土,部分土地发生碱化^[14]。研究区根据林地类型划分为天然梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林、天然—人工梭梭林和人工梭梭林。天然梭梭林以梭梭为建群种,同时分布有怪柳(*Tamarix chinensis*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)和红砂(*Reaumuria songarica*)等主要植物,土壤属于轻微盐渍化强碱性土壤;天然—人工梭梭林位于天然梭梭林和人工种植梭梭林交错处,主要分布有天然梭梭和人工种植梭梭,同时有极少数沙拐枣和怪柳分布,土壤无盐渍化现象,呈强碱性土;人工梭梭林于 1984 年种植,属纯种人工梭梭林,目前无其它灌木生长,土壤无盐渍化现象,属碱性土。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 2016 年 5—6 月,在不同梭梭林内随机各选取 5 个 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的样地,共 15 个,各样地之间的距离大于 100 m,同时在各样地中设置 10 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的草本样方。记录每个草本样方中植物的名称、株数、高度和冠幅。

1.2.2 土壤因子调查 土壤含水量(SW)采用土钻

取样烘干称重法测定表层(0—40 cm)土壤含水量,每个样地重复 5 次取平均值得到平均土壤含水量。结皮盖度(Crc)使用剪刀除去地上草本植物后估算,将 1 m×1 m 的样方分为 4 个象限,每一象限内估算结皮盖度后加和,多人多次估算,取平均值为最后的盖度值。结皮厚度(Crt)采用游标卡尺测定。土壤电导率(EC)采用直径 3 cm 的土钻钻取 5 个 0—40 cm 的土样混合成一个混合样,过 1 mm 筛去除杂质,采用 1:5 土水比浸提液测定。土壤 pH 值采用玻璃电极法测定。土壤粒径采用 BT-2001 型激光粒度分布仪(湿法),结果以体积百分量表示,分为 <0.002 mm 黏粒、0.002~0.02 mm 粉粒和 0.02~2 mm 砂粒^[15]。

1.3 数据处理

用 Canoco 4.5 软件对物种相对重要值进行除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA),可得 Lengths of gradient 的第 1 轴为 2.736,应选择冗余分析(redundancy analysis, RDA)对物种相对重要值和土壤因子排序,但考虑到零值较多,影响准确性,故选用 CCA。物种相对重要值=(相对高度+相对盖度+相对频度+相对多度)/400; Shannon 指数、

Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数用 DPS 7.5 软件进行计算。各物种多样性指数和土壤因子的回归关系基于 R 软件平台的 mgcv 软件包进行分析。

2 结果与分析

2.1 林下植物分布的重要值和物种多样性

由表 1 可知,3 个林地共统计到 19 种植物,分属于 7 个科,其中藜科植物最多,占比为 47%。天然梭梭林共分布有植物 15 种,以甘新念珠芥(*Neotorularia korolkowii*)、滨藜(*Atriplex patens*)、盐生草(*Halopteron glomeratus*)和刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)为优势种,重要值各为 18.23%, 18.00%, 10.93% 和 12.08%。天然—人工梭梭林有植物 12 种,以滨藜、细裂补血草(*Limonium leptolobum*)、丝叶芥(*Lep-taleum filifolium*)和甘新念珠芥为优势种,其中细裂补血草是该林地的绝对优势种,重要值为 34.06%; 人工梭梭林共有植物 9 种,以虫实(*Corispermum hyssopifolium*)、滨藜、甘新念珠芥和角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)为优势种,虫实是该林地的绝对优势种,重要值为 36.8%。由天然林到人工林下植被盖度逐渐增加,物种多样性指数逐渐减小。

表 1 不同林地林下植物物种组成的重要值和物种多样性

植物名称	科	生活型	相对重要值/%		
			天然梭梭林	天然—人工梭梭林	人工梭梭林
甘新念珠芥	十字花科	短命植物	18.23	9.20	11.83
滨藜	藜科	短命植物	18.00	12.04	14.36
刺沙蓬	藜科	一年生草本	10.93		
狭果鹤虱	紫草科	短命植物	6.25		
角果藜	藜科	一年生草本	3.39		10.86
东方早麦草	禾本科	短命植物	8.08	3.85	
篇蓄	藜科	短命植物	4.09	6.01	6.28
细裂补血草	白花丹科	多年生草本	3.24	34.06	
梭梭	藜科	小半乔木	0.54	3.21	10.66
齿稈草	禾本科	短命植物	0.44	7.04	0.43
盐生草	藜科	一年生草本	12.08	4.31	
刺毛碱蓬	藜科	一年生草本	5.39	1.87	
黄花软紫草	紫草科	一年生草本	1.13		
叉毛蓬	藜科	短命植物	1.67		3.46
弯曲四齿芥	十字花科	短命植物	6.24		5.32
丝叶芥	十字花科	一年生草本		13.03	
米奴草	石竹科	多年生草本		3.78	
黄鹌菜	菊科	一年生草本		1.54	
虫实	藜科	一年生草本			36.80
盖度/%			9.50	16.97	32.23
物种多样性指数					
Shannon 指数			2.12	1.67	1.06
Simpson 指数			0.83	0.73	0.49
Pielou 指数			0.78	0.67	0.48

注:狭果鹤虱(*Lappula semiglabra*),东方早麦草(*Eremopyrum orientale*),篇蓄(*Polygonum aviculare*),齿稈草(*Schismus arabicus*),刺毛碱蓬(*Suaeda acuminata*),黄花软紫草(*Arnebia guttata*),叉毛蓬(*Petrosimonia sibirica*),弯曲四齿芥(*Tetradlea quadricornis*),米奴草(*Minuartia kryloviana*),黄鹌菜(*Youngia*)。

2.2 土壤因子对林下植物分布的影响

由 CCA 分析得到各样地—土壤因子和物种—土壤因子的二维排序图(图 2)。图中的箭头表示土壤因子,其所在象限表示该土壤因子与排序轴相关性的正负;连线的长短表示植物分布与该土壤因子的相关性强弱,连线越长,相关性越大。连线在排序轴的斜率表示该土壤因子与排序轴的相关性强弱,夹角越小,相关性越高。

由 CCA 分析可知(图 2),CCA 前 2 个排序轴的特征值分别为 0.314,0.198,第一排序轴与土壤 pH 值、电导率、土壤含水量和粉粒含量呈极显著负相关($p < 0.01$),与砂粒含量、结皮厚度和盖度呈极显著正相关关系($p < 0.01$),第一轴解释了 61.2%的植物物种变化和 38.1%的物种与土壤因子的关系;第二轴与

土壤电导率和水分呈极显著正相关,而与 pH 呈极显著负相关($p < 0.01$),第二轴解释了 37.4%的物种变化和 62.2%的物种与土壤因子的关系,说明前 2 个排序轴反映了植物分布与土壤因子关系的大部分信息。土壤因子对不同林地植物分布的影响有差异,黄花软紫草、鹤虱和刺沙蓬只分布在天然林,土壤水分、电导率、土壤黏粒和粉粒含量与该林地相关性较强;细裂补血草、丝叶芥、米奴草和黄鹌菜分布在天然—人工梭梭林,该林地土壤 pH 值最高,平均为 9.68,是主要影响因子;虫实仅出现在人工林,该林地结皮厚度、盖度和土壤砂粒含量较高,分别为 1.55 cm,72%和 63.62%;甘新念珠芥、梭梭幼苗、滨藜和菘蓄在三种林地均有分布,且分布量均较高,说明这几种植物对荒漠环境的适应能力较强。

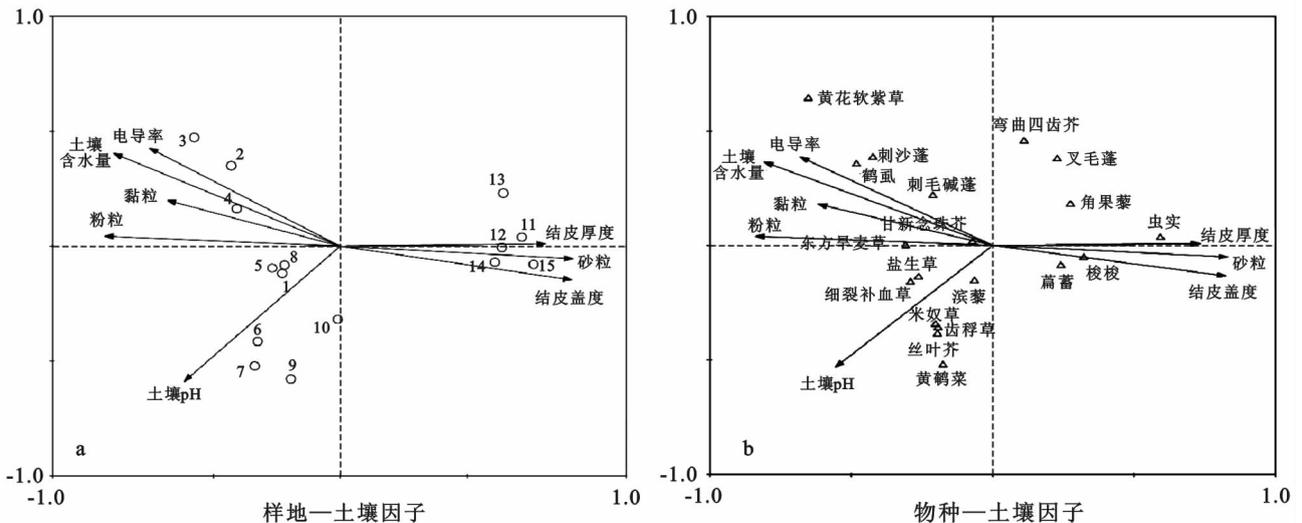


图 1 样地—土壤因子和物种—土壤因子的 CCA 二维排序

2.3 土壤因子对物种多样性的影响

土壤因子对物种多样性具有显著影响(表 2,图 2)。在 8 个土壤因子指标中,Shannon 多样性指数与土壤水分、电导率、土壤 pH 值和粉粒含量均呈极显著相关(表 2),与各因子的 GAM 回归可知(图 2),Shannon 指数与土壤粉粒含量呈极显著线性相关,与土壤含水量呈极显著非线性正相关($p < 0.01$),而与电导率和土壤 pH 值均呈极显著非线性负相关($p < 0.01$)。其中,电导率的解释量最高,为 60.6%,其次为粉粒含量,解释量为 33.4%。由 4 个土壤因子指标共同拟合的回归曲线对 Shannon 指数的解释量为 94.9%,说明这 4 个土壤因子指标是影响 Shannon 多样性指数的关键。Simpson 优势度指数与土壤水分、电导率和粉粒含量均呈极显著相关($p < 0.001$),其中与土壤水分含量呈非线性正相关,与粉粒含量呈线性正相关,与土壤电导率呈非线性负相关,电导率的解

释量同样最高,为 51%,而土壤水分和粉粒含量的解释量基本一致,分别为 33.1%和 35.7%。3 个土壤因子指标共同拟合回归曲线对 Simpson 指数的解释量为 97.7%。Pielou 均匀度指数与土壤电导率、pH 值和砂粒含量均呈极显著负相关($p < 0.01$),而土壤含水量呈极显著非线性正相关。土壤含水量、电导率和砂粒含量的解释均较大,分别为 70.2%,58.4%和 47.1%。4 个土壤因子指标共同拟合回归曲线对 Pielou 指数的解释量达 96.3%。

土壤水分与多样性指数之间均呈非线性正相关,当含水量达到一定值时,多样性指数逐渐趋于稳定。由表 3 可知,当土壤含水量为 2.19%~6.28%时,多样性指数与土壤水分之间均呈显著相关性,土壤水分对多样性指数的解释量达 70%以上,而当含水量为 6.52%~13.13%时,土壤水分与多样性指数之间相关性不显著,解释量也大幅降低。总体来看,土壤因子对物种多样性指数的影响表现为:当土壤含水量 \geq

8%时,3个多样性指数逐渐趋于稳定(图2,表3);当土壤pH值 >9.0 时,Shannon多样性指数和Pielou均匀度指数出现明显下降趋势;同时,粒径较大的砂粒

含量 $>40\%$ 时,Pielou均匀度指数同样出现明显下降趋势;土壤电导率对Simpson指数影响较大,当电导率在 $0.75\sim 1.75\text{ mS/cm}$ 时,Simpson指数较稳定。

表2 土壤因子与物种多样性指数 GAM 曲线回归

多样性指数	土壤因子	GAM 曲线回归结果							
		edf	F	p	截距	t	p	R ²	解释偏差/%
Shannon(H)	X ₁ (SW)	1.99	28.68	$<0.001^{***}$	1.85	29.59	$<0.001^{***}$	0.898	94.9
	X ₂ (EC)	1.65	33.35	$<0.001^{***}$					
	X ₃ (Silt)	1.00	18.94	0.004^{**}					
	X ₄ (pH)	1.90	10.88	0.008^{**}					
Simpson(D)	X ₁ (SW)	1.97	65.30	$<0.001^{***}$	0.61	50.64	$<0.001^{***}$	0.957	97.7
	X ₂ (EC)	3.00	63.89	$<0.001^{***}$					
	X ₃ (Silt)	1.00	55.76	$<0.001^{***}$					
Pielou	X ₁ (SW)	1.92	27.70	$<0.001^{***}$	0.68	60.73	$<0.001^{***}$	0.928	96.3
	X ₂ (EC)	1.01	41.38	$<0.001^{***}$					
	X ₃ (Sand)	1.00	17.16	0.004^{**}					
	X ₄ (pH)	2.34	10.60	0.006^{**}					

注:SW为土壤含水量(%);EC为土壤电导率(mS/cm);Silt为粉粒含量(%);Sand为砂粒含量(%)*表示在 $p<0.05$ 水平回归显著;**表示在 $p<0.01$ 水平回归极显著;***表示在 $p<0.001$ 水平回归极显著。edf为有效自由度。下同。

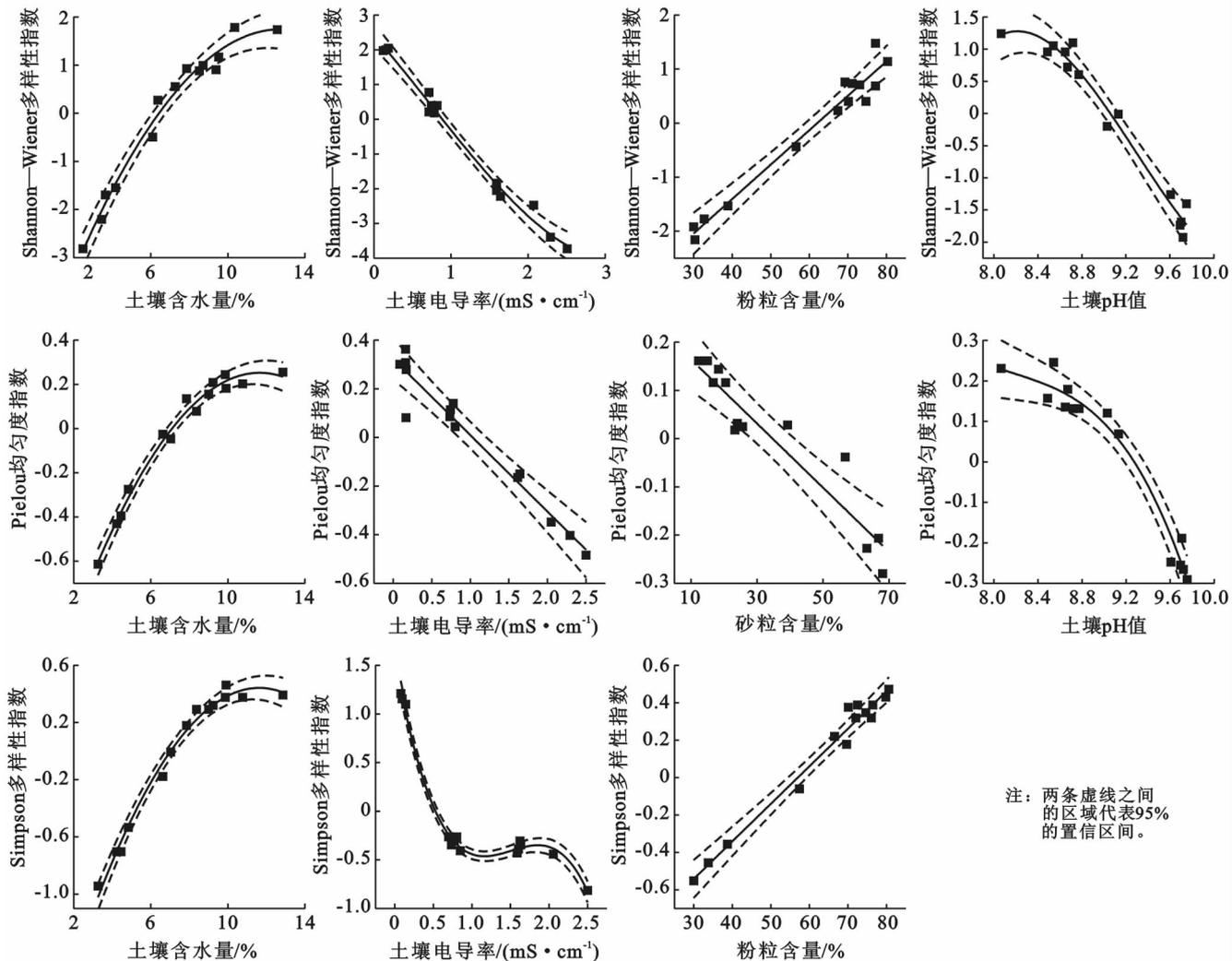


图2 土壤因子对物种多样性影响的 GAM 拟合曲线

表 3 不同土壤水分范围对多样性指数的影响

土壤水分范围	土壤平均含水量/%	多样性指数	edf	F	p	解释偏差/%
2.19%~6.28%	3.78	Shannon	1.670	115.7	<0.001***	98.6
		Simpson	1.595	20.94	0.0095**	92.7
		Pielou	1	10.91	0.0291*	73.2
6.52%~13.13%	8.09	Shannon	1	1.129	0.329	15.8
		Simpson	1	1.757	0.233	22.6
		Pielou	1.543	3.707	0.072	62.6

3 讨论与结论

3.1 讨论

植被分布受到环境因子的强烈影响^[16]。本研究表明,刺沙蓬主要分布在土壤水分和电导率较高、粒径组成较细的梭梭林,细裂补血草在土壤 pH 较高的林地分布,虫实分布在土壤结皮发育较好、砂粒含量较高的林地。甘新念珠芥、滨藜和篇蓄对荒漠环境的适应能力较强,3 个林地均有分布,且具有较高的重要值。由天然梭梭林到人工梭梭林,生物结皮厚度和盖度逐渐增加,土壤水分含量和电导率逐渐降低,林下植被的分布表现为对抵抗环境扰动和保持种群稳定能力更强的一年生草本植物^[17]逐渐成为优势种,同时,自然更新的梭梭幼苗相对重要值逐渐增大(由表 1 梭梭的相对重要值体现)。生物结皮的出现、发展和时空变化可揭示干旱荒漠区生态环境的演变趋势^[18],生物结皮的发育、土壤水分和电导率影响了林下植物的定居和个体生长^[19],司朗明等^[20]研究指出,土壤电导率和土壤含水量与梭梭幼苗的活株密度呈极显著负相关,本研究结果与此一致。

土壤特性与物种多样性具有显著相关性^[16,21-24]。本研究发现,土壤水分、电导率、pH 和土壤粒径是影响物种多样性的主要因素。3 个多样性指数(Shannon 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数)与土壤水分和粉粒含量均呈极显著正相关,与土壤电导率和 pH 值呈显著负相关。但也有研究发现,土壤水分和电导率与物种多样性指数之间没有显著相关性^[25],这主要与研究区建群种和土壤取样深度有关。本研究同时发现,各土壤因子与各多样性指数的解释量不同,电导率对 Shannon 多样性指数和 Simpson 优势度指数的解释量均最大,分别为 60.6% 和 51%,土壤水分对 Pielou 均匀度指数的解释量最大,为 70.2%。并且,当林地土壤含水量大于 8% 时,随着含水量的增加,多样性指数逐渐趋于稳定,土壤 pH>9.0 时,Shannon 多样性指数和 Pielou 均匀度指数出现明显下降趋势。这主要是因为土壤水分处

于不同范围时对多样性指数的影响不同(表 3),当梭梭林地平均土壤水分在 $3.78 \pm 0.61\%$ 时,土壤水分对多样性指数的影响最大,解释量也最大,当土壤水分为 $8.09 \pm 0.57\%$ 时,土壤水分与多样性指数之间相关不显著,且对各多样性指数的解释量很低。因此,在分析土壤水分和电导率与物种多样性关系时,尤其是干旱荒漠区,不仅要考虑乔、灌木类型和不同植被层对土壤水分利用深度的不同,选择合适深度的土壤数据,同时应该说明土壤水分的变化范围。

3.2 结论

不同梭梭林地林下植被分布的差异和物种多样性主要由土壤因子的空间异质性所致,表现为不同林地内优势种、主要植物分布和自然更新梭梭幼苗的相对重要值随土壤水分、电导率、pH 值和生物结皮发育的不同而变化;土壤水分较高的环境下($8.09 \pm 0.57\%$),土壤电导率和土壤中粉粒含量是影响 Shannon 多样性指数和 Simpson 优势度指数最主要的土壤因子,影响 Pielou 均匀度指数的主要因子是土壤水分。当土壤含水量大于 8.0% 时,多样性指数趋于稳定,同时,土壤 pH 值>9.0 时,多样性指数有明显下降趋势。本研究为该区物种多样性保护和进行人工植被恢复当地生态具有一定的参考价值。

[参 考 文 献]

- [1] 褚建民,卢琦,崔向慧,等.人工林林下植被多样性研究进展[J].世界林业研究,2007,20(3):9-13.
- [2] 余敏,周志勇,康峰峰,等.山西灵空山小蛇沟林下草本层植物群落梯度分析及环境解释[J].植物生态学报,2013,37(5):373-383.
- [3] 张佳,李生宇,靳正忠,等.防护林下草本植物层片物种多样性与环境因子的关系[J].干旱区研究,2011,28(1):118-125.
- [4] 吴昊,王得祥,黄青平,等.环境因子对秦岭南坡中段松栎混交林物种多样性的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(9):41-50.
- [5] 张峰,张金屯.历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J].生态学报,2003,23(3):421-427.
- [6] 冯云,马克明,张育新,等.辽东栎林不同层植物沿海拔

- 梯度分布的 DCCA 分析[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3):568-573.
- [7] 张桂英, 姜秀萍, 王丽娟, 等. 三北防护林工程建设前后科尔沁沙地环境变化[J]. 中国农学通报, 2014, 30(5): 181-184.
- [8] Zuo Xiaolan, Zhao Xueyong, Zhao Halin, et al. Scale dependent effects of environmental factors on vegetation pattern and composition in Horqin Sandy Land, Northern China[J]. Geoderma, 2012, 173(1/9):1-9.
- [9] 周欣, 左小安, 赵学勇, 等. 科尔沁沙地植物群落分布与土壤特性关系的 DCA, CCA 及 DCCA 分析[J]. 生态学杂志, 2015, 34(4):947-954.
- [10] 黄培佑, 吕自力. 莫索湾绿洲的建立与梭梭荒漠的动态研究[J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(4):173-179.
- [11] 姜有为, 蒋进, 宋春武, 等. 平茬与间伐对古尔班通古特沙漠人工林土壤水分的影响[J]. 干旱区研究, 2014, 31(6):998-1004.
- [12] 刘茂秀. 莫索湾地区梭梭群落生态学特性初步研究[D]. 新疆乌鲁木齐:新疆农业大学, 2005.
- [13] Hopfensperger K N, Burgin A J, Schoepfer V A, et al. Impacts of saltwater incursion on plant communities, anaerobic microbial metabolism, and resulting relationships in a restored freshwater wetland[J]. Ecosystems, 2014, 17(5):792-807.
- [14] 钱亦兵, 李银芳. 莫索湾垦区荒漠化土地物理特性研究[J]. 干旱区研究, 1999, 16(2):41-45.
- [15] 许文强, 罗格平, 陈曦等. 干旱区绿洲不同土地利用方式和强度对土壤粒度分布的影响[J]. 干旱区地理, 2005, 28(6):800-805.
- [16] 任学敏, 杨改河, 王德祥, 等. 环境因子对巴山冷杉—糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(2):605-613.
- [17] 吴旭东, 宋乃平, 潘军. 沙质草地生境中植物群落对土壤质地演进的响应[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 285-290.
- [19] 马全林, 王继和, 朱淑娟. 降水、土壤水分和结皮对人工梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(12):5057-5067.
- [20] 司朗明, 刘彤, 信誉. 古尔班通古特沙漠土壤因素对退化梭梭更新局限的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 1925-1930.
- [21] 崔楠, 吕光辉, 刘晓星, 等. 胡杨、梭梭群落土壤理化性质及其相互关系[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 476-482.
- [22] 杨丽, 张秋良. 大兴安岭兴安落叶松林下植被多样性及土壤养分季节分布特征[J]. 水土保持学报, 2015, 29(6):124-130.
- [23] 李伟, 张翠萍, 魏润鹏. 广东中西部桉树人工林植物多样性与林龄和土壤因子的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(17):4957-4965.
- [24] 徐磊, 廖帆, 严成, 等. 梭梭群落物种多样性与土壤理化性质的相关性研究[J]. 干旱区研究, 2015, 32(5):875-881.
- [25] 杨玉海, 陈亚宁, 李卫红. 新疆塔里木河下游土壤特性及其对物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 602-611.

《水土保持通报》封面图案稿酬支付启事

本刊 201601—201703 封面 1 树木图案来自网络资料。因原图案相关部位缺失作者联系方式, 未能及时支付稿酬。请该图作者及时与本刊编辑部(bulletin@ms.iswc.ac.cn)联系, 《水土保持通报》编辑部会按我刊正常付酬标准并参考同类期刊付酬标准尽快支付稿酬。多谢支持!

《水土保持通报》编辑部

二零一七年六月