接坝农牧交错区沙化地生态恢复过程中土壤因子与植被特征分析

冯　伟[1,2]，张万军[1]，冯学赞[1]
(1.中科院遗传与发育研究所农业资源研究中心，河北 石家庄 050021；2.中国科学院研究生院，北京 100039)

摘　要：对小坝子沙地植被恢复进程中植物与土壤相互作用过程进行观测分析，结果表明沙漠化地区在植被恢复初期植物多样性较低，土壤环境因子与物种多样性存在相关性，增加土壤的养分和水分有利于物种的繁衍。进一步利用多元统计方法对土壤因子进行了主成分分析，结果显示，土壤养分与水分表现出较大的因子累积贡献率，是该区域植被恢复的主导因子，土壤因子对物种多样性的变化有响应，土壤有机质与土壤水分等随物种多样性的增加将有所改善。

关键词：接坝沙地；土壤因子；物种多样性；主成分分析
中图分类号：S288　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-7601(2006)03-0130-04

植物群落和环境因子之间的关系是地植物学研究的重要内容之一[1]，土壤与植被的相互关系，对植物多样性有重要影响。目前较多的研究集中在地形因子对生物多样性的影响方面，而关于土壤因子如水分、养分等的研究不多，对荒漠及农牧交错区的土壤环境因子与植物群落物种多样性的研究更少[2~5]。由于土壤对多样性的影响较为复杂，研究结果缺乏规律性[4]。农牧交错区社会经济的可持续发展受到该区域生态环境的制约，因此植被恢复成为该区域退化生态系统重建的重要步骤和主要任务[5]。本文以农牧交错区沙化土地的植被和土壤因子为研究对象，探讨该地区在生态恢复过程中植物群落物种多样性与土壤环境因子的关系，希望其结果能对认识该地区植被恢复的过程，促进退化生态系统功能的重建产生影响。

1　研究地区及研究方法

1.1　研究区概况

试验地设在河北丰宁县小坝子乡，距丰宁县城西北45 km的接坝山区。地理坐标位于北纬41°22′8″～41°34′6″，东经116°12′49″～119°29′30″。该地区北连坝上草原，南接冀北山地丘陵，是高原山区的过渡带，典型的农牧交错地带。试验区平均气温2.5～3.4℃，无霜期105 d，4级以上风天数年平均210 d左右，8级以上大风天数65 d左右，年均降雨量409.3 mm，6～9月降雨占全年75%～80%。土壤以棕壤为主，褐土和潮土也有分布，并分布有大量的风沙土。土壤有机质含量2～15 g/Kg，pH值7.3～8.8。植被类型分为高原植被和山地植被两种，高原植被为地带性温带草原植被。以草本植物为主，主要种类为针茅、羊草、线叶菊、冷蒿和地椒等，灌丛种类以小叶锦鸡儿、黄花柳、沙棘为主。山地坝缘为山地植被，有片状天然白桦林分布。长期以来由于开垦、放牧等人为的不合理利用，小坝子乡原本极端脆弱的生态环境日趋退化，水土流失、植被破坏、土地荒漠化加剧。据2002年调查，小坝子乡沙化土地4 408.6 hm^2，其中流动沙地216.2 hm^2，半固定沙地3 460 hm^2，固定沙地732.4 hm^2，另有潜在沙化土地9 808.9 hm^2。

1.2 研究方法

1.2.1　*野外调查*　于2004年7～9月对小坝子植被恢复区进行群落和物种调查，调查区海拔高度850～1 150 m。选取处于不同恢复程度封育地的10个典型样地，样地面积20 m×20 m，在各样地内梅花状设置5个1 m×1 m草本植物样方，调查记载每种植物的多度、株数、高度、覆盖度等，并分析优势种，出现频度，计算重要值。草本重要值＝(相对高度＋相对盖度＋相对多度＋相对频度)/4。物种多样性指数选用Shannon－Wiener指数和Margalef指数[6]。

1.2.2　*土样采集及土壤指标测定*　每个样地内三重复取土样，深度为0～30 cm，同时采用便携式

收稿日期：2005-11-06
基金项目：中日合作共建“21世纪中国首都圈环境绿化示范基地”项目和“冀西北农牧交错区风沙治理综合技术开发与示范”项目共同资助
作者简介：冯　伟(1980－)，男，甘肃酒泉人，在读硕士，研究方向为植被恢复与水文生态。E-mail：feng-wei@mails.gucas.ac.cn
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

TDR(时域反射仪)测定土壤水分[7]。土壤养分的测定[8]为三重复取平均值。全盐量采用电导率法;全氮采用凯氏定氮法;全磷采用酸溶“钼锑抗”比色法;速效氮采用碱解扩散法;速效钾采用醋酸铵浸提—火焰光度计法;速效磷采用碳酸氢钠浸提比色法;有机质采用重铬酸钾容量法;酸碱度采用 5∶1 水土比 pH 计测定。

采用线性及多项式两种函数,分别进行回归分析,从两种函数的回归式中选择回归系数较高者来讨论土壤因子对多样性的影响[4]。

2　结果及分析

2.1　植物物种出现频次

研究区内共调查到植物种类共计 10 科 25 属 36 种。图 1 的分析结果是以不同物种的出现频次表示的丰富度模式。植物种类的丰富度可以由植物种类在样方中出现频次的高低间接反映[9]。由图 1 看出,各样地的物种数差异较大。在调查中出现频次较高的物种有狗尾草(*Setaria viridis*)、铁杆蒿(*Artemisia capillaris*)、沙蒿(*Artemisia ordosica*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*),几乎在所有样地都出现。其次为胡枝子(*Lespedeza floinbunda*)、大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、苍耳(*Xanthium sibiricurn*)、草木犀(*Melilotus snaveolens*),出现在 6 个样地,占所有种数的 16.7% 。在调查到的 36 种植物中,有 7 种仅出现在 1 个样地,占所有种数的 19.4%,如分叉蓼(*Polygonum divaricatum*)、雾滨藜(*Bassia dasyphylla*)、紫菀(*Aster tataricus*)、苦荬菜(*Ixeris denticulata*)、千屈菜(*Lythrum salicaria*)、狼紫草(*Lycopsis orientalis L.*)、野豌豆(*Vicia cracca*)。禾本科的杂草如冰草(*Agropyron cnisxatum*)、赖草(*Leymus chinensis*)、碱草(*Ancurolepidum chinensis*)等出现频次较低,说明小坝子沙化区植被仍处在恢复演替初期,以沙生植物为主,植被群落结构还比较简单。

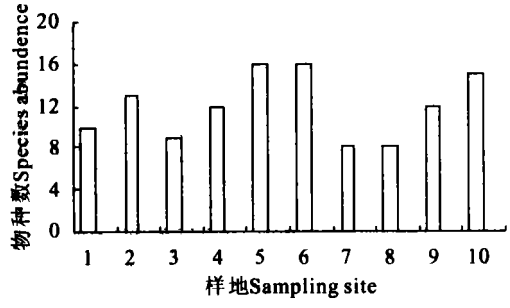

图 1　物种在样地出现的频次(物种丰富度)

Fig.1　Patter of species abundence, presented as number of species plotted against number of sampling site

2.2　物种多样性与土壤水分含量的关系

对物种多样性和土壤含水量进行回归分析,拟和较好的函数是二项式。土壤水分含量与 Shannon—Wiener 和 Margalef 指数表现出较显著的相关性($P_{shannon}=0.043$, $P_{margalef}=0.090$)。土壤含水量为 5%～10%时,植被多样性指数表现出较高值(图 2、3)。小坝子地区土壤多为沙土,土壤含水量低,较耐旱的沙生植物在封育后得以生存繁衍,由此增加了该地区的植被盖度。

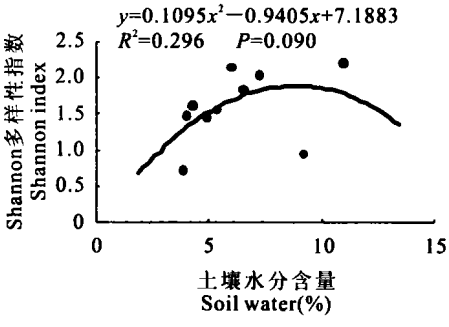

图 2　土壤水分含量与 Shannon 指数的回归分析

Fig.2　Regression of soil water and Shannon index

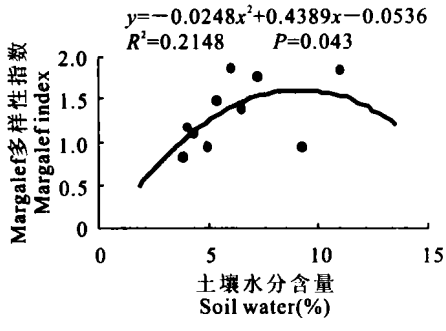

图 3　土壤水分含量与 Margalef 指数的回归分析

Fig.3　Regression of soil water and Margalef index

土壤水分,包括地下水是影响植物多样性的重要因子[10]。土壤水分与植物个体数和植被盖度有相关关系,表现出与多样性相同的相关趋势,说明增加土壤水分有利于当地沙生植物的生长。当地植被处于恢复演替的初级阶段,适宜的土壤环境更有利于植被的生长和恢复。

2.3　物种多样性与土壤有机质和养分的关系

物种多样性与土壤有机质的回归关系表现较好的函数仍为二项式。由图 4 可以看出,0～30 cm 土壤有机质含量与 Shannon 多样性指数有较显著相关性($P=0.087$);土壤有机质与 Margalef 指数的回归分析表明相关性不显著。当 0～30 cm 土壤有机质

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

含量约为8 g/kg左右时，Shannon多样性指数出现较大值。土壤全N、速效K、速效P与物种多样性指数均无显著相关性。土壤速效养分含量与动态变化和土壤水分、温度、孔隙状况及微生物活动有很大关系，它直接影响植物的现实生产力[11]。该区域土壤有机质的含量较低，反映土壤肥力较低，进而直接影响植被格局和生物量。由前述的回归分析表明，土壤有机质与土壤水分含量对Shannon多样性指数有较显著影响，说明它们对多样性的作用方式相同，均有利于增加物种个体数，从而影响多样性指数。

2.4 土壤因子间的相关关系

土壤与植被作为一个整体系统，各因子之间相互联系，共同作用，并且受到其它因素的影响。土壤环境与植物物种多样性的关系较为复杂。表1为9个土壤因子间的相关系数，各因子之间的关系非常密切。pH值反映土壤的酸碱状况，pH与其它因子有明显的正相关，同样电导率值反映了土壤中的盐分水平，也与其它因子有正相关。有机质与全N、全P和速效N、P、K都表现出相关性。而土壤含水量与其它因子表现出较小的相关性或负相关，说明土壤含水量是该地区植被生存环境的重要影响因子。由于该地区土壤较为贫瘠，表层土壤的各种指标含量对植被物种多样性的影响并不明显，所以N、P和K以及各种盐离子对物种多样性的作用程度有待进一步研究。

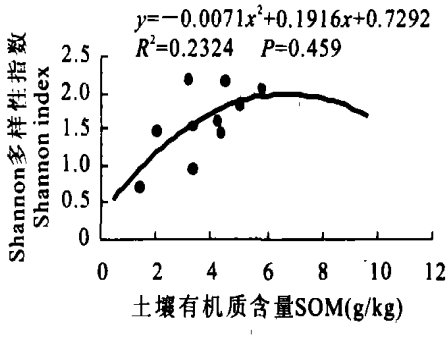

图4 土壤有机质与Shannon指数的回归分析

Fig.4 Regression of soil organic matter and Shannon index

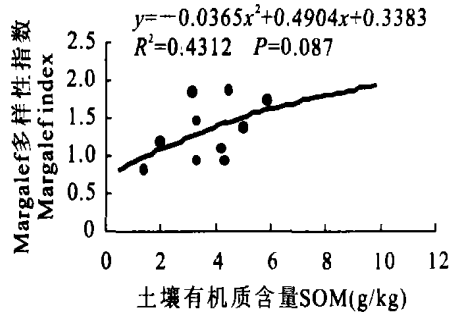

图5 土壤有机质与Margalef指数的回归分析

Fig.5 Regression of soil organic matter and Margalef index

表1 土壤因子间的相关系数

Tab.1 Correlation coefficients among soil factors

项目 Item	pH值 pH value	含水量 Soil water	有机质 SOM	全氮 Total N	全磷 Total P	速效钾 Avail. K	碱解氮 Avail. N	速效磷 Avail. P	电导率 Cond.
pH值 pH value	1								
含水量 Soil water	0.2124	1							
有机质 SOM	0.2155	−0.1438	1						
全 氮 Total N	0.6259	0.2220	0.4395	1					
全 磷 Total P	0.6348	−0.1957	0.2872	0.1492	1				
速效钾 Avail. K	0.1525	−0.2316	0.6870	0.1386	0.6241	1			
碱解氮 Avail. N	0.2046	0.1212	0.3835	0.2194	0.2612	0.2491	1		
速效磷 Avail. P	0.1087	0.1542	0.2409	−0.0960	0.1618	0.3313	0.1068	1	
电导率 Cond.	−0.0486	−0.4081	0.0633	0.1965	−0.0763	−0.2437	0.5051	−0.2134	1

2.5 土壤因子主成分分析

主成分分析辨识，前4个主成分提供的信息量分别为31.8%，50.6%，68.1%，80.3%(表2)。其中第一主成分的有机质(0.70)、速效磷(0.67)、速效钾(0.89)最大，代表了土壤的营养状况；第二主成分中pH值(0.92)、全氮(0.77)、全磷(0.59)的负荷量较大，这也是土壤养分的重要指示因子；第三主成分的速效氮(0.79)、电导率(0.84)负荷量最大，代表土壤盐分状况；第四主成分的水分含量(0.92)负荷量最大。

土壤因子的主成分分析进一步说明，在小坝子沙化地的植被恢复过程中，土壤肥力与土壤水分含量是植被生长的限制因素。土壤有机质和速效养分以及土壤水分表现出较大的因子负荷量，是该区域植被恢复的主导因子。从表2的因子贡献率来看，其第二、三、四主成分的贡献率较低，说明该区域土

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

壤与植被景观分异较大,各个因子受到多种因素的　　影响。

表 2　主成分(PCA)的因子负荷量、特征根与贡献率

Tab.2　Factor loading, eigenvalue and cumulative percentage of PCA

因子 Factor	主成分 Principal component number			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
pH 值 pH value	0.126	0.925	−0.028	0.098
水分含量 Soil water content	−0.108	0.198	−0.099	0.922
有机质 Soil organic matter	0.703	0.235	0.375	−0.061
全氮 Total nitrogen	−0.009	0.772	0.345	0.180
全磷 Total phosphorous	0.533	0.593	−0.140	−0.366
速效钾 Available potassium	0.890	0.172	−0.045	−0.242
碱解氮 Available nitrogen	0.317	0.156	0.791	0.134
速效磷 Available phosphorous	0.671	−0.174	−0.067	0.410
电导率 Conductance	−0.259	−0.015	0.844	−0.349
特征根 Eigenvalue	2.864	1.693	1.572	1.105
贡献率 of variance(%)	31.82	18.81	17.46	12.27
累积贡献率 Cumulative(%)	31.82	50.63	68.09	80.36

3　讨　论

土壤性质与群落结构之间的数量关系,一般通过生物多样性指标来获得,其数量关系研究目前多通过多元线性回归进行分析[12]。在土壤—植被体系中,土壤和植被是相互依存的两个因子,植被影响土壤,土壤制约植被。土壤的各个因子之间是相互影响的,非独立的,这种现象影响了回归的有效性[13]。

从宏观上看,小坝子沙化区植被物种组成简单,群落优势种突出,具有不稳定性,也说明了植物群落所处的生态环境的严酷性。其主要植被为一年生草本植物,由于季节性生长周期的影响,调查时期的植物群落表现出较大的季候差异。该地区植被分布稀疏,物种多样性仍然较低,植物群落结构还较简单,必须进一步封育恢复。

土壤养分的增加与生物多样性指数的增大成正相关关系,对处于植被恢复演替初期的植物群落,土壤含水量的增加也有利于植被的生存。也有研究表明,沙地土壤含水量的减小对多样性的影响并不明显[14]。这是由于群落中构建多样性的主要成分一年生短命植物往往在雨季很少的降水条件下能够完成其生活史,因此,土壤有机质的积累和养分的提高有利于植物多样性的增加。但多数人认为,植物群落较高的多样性出现在土壤养分梯度的中间位置,Gentry[15]认为土壤最肥沃的地方植物群落的多样性最高。本文土壤水肥因子与植被特征之间的关系分析结果表明,土壤因子对物种多样性有影响。在小坝子沙化区植被恢复的初级阶段,适宜的土壤条件有利于植被的恢复,增加土壤水分和养分有利于植被的生存,随着恢复演替的进行,植被物种多样性将会增加。有关于土壤养分和地下水与物种多样性的研究有待于进一步深入。

生态系统恢复过程中由于植被发育使土壤基质的稳定性提高,更多物种的繁殖体得以散布和定居,这是物种多样性恢复的条件之一[16]。物种多样性在一定程度上体现了群落的发展阶段和稳定程度,演替水平越高的群落,多样性越高,而且环境的改善又有助于演替进程的加速[17]。沙地植被的物种组成和群落演替的变化是对生态恢复的一种响应。

参 考 文 献:

[1]　江　洪,黄建辉,陈灵芝,等. 东灵山植物群落的排序、数量分类与环境解释[J]. 植物学报,1994,36(7):539−551.

[2]　傅　华,陈亚明,周志宇,等. 阿拉善荒漠草地恢复初期植被与土壤环境的变化[J]. 中国沙漠,2003,23(6):661−664.

[3]　KANG mu-yi, DONG shi-kui, HUANG xiao-xia, et al. Ecological regionalization of suitable trees, shrubs and herbages for vegetation restoration in the farming—pastoral zone of North China[J]. Acta Botanica Sinica. 2003,45(10),1157−1165.

[4]　张林静,岳　明,顾峰雪,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性与土壤环境因子的耦合关系[J]. 应用生态学报,2002,13(6):658−662.

[5]　张继义,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地植物群落恢复演替系列种群生态位动态特征[J]. 生态学报,2003,23(12):2741−2746.

(下转第 224 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

assess and compare the responses of AM fungi to soil condition. The mean percent colonization and spore density of AM fungi reached maximal values of 86% in September and 130 pre 1g soil in November 2004, respectively. Soil alkali solution N had a significant negative effect on spore density, and soil organic matter presented negative correlation to spore density. Soil pH had a negative effect on hyphae percent colonization, and a significant negative effect on vesicle percent colonization. This study results suggest that spore density round the rhizosphere of host-plants and the different structures of AM fungi are the useful indicators for evaluating changes in soil ecosystems.

Keywords: AM fungi; temporal and spatial distribution; soil factors; Raspberry

(上接第133页)

[6] 汪殿蓓,暨淑仪,陈飞鹏. 植物群落物种多样性研究综述[J]. 生态学杂志,2001,20(4):55-60.

[7] 孙玉龙,郝振纯. TDR技术及其在土壤水分及土壤溶质测定方面的应用[J]. 灌溉排水,2000,19(1):37-41.

[8] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,2000.146-195,272-276.

[9] 张元明,陈亚宁,张道远. 塔里木河中游植物群落与环境因子的关系[J]. 地理学报,2003,53(1):109-118.

[10] 关文彬,曾德慧,姜凤歧,等. 中国东北西部地区沙质荒漠化过程与植被动态关系的生态学研究[J]. 生态学报,2000,20(1):93-98.

[11] 张伟华,关世英,李跃进,等. 不同恢复措施对退化草地土壤水分和养分的影响[J]. 内蒙古农业大学学报,2000,21(4):31-35.

[12] 吴 彦,刘 庆,等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(6):648-655.

[13] 安树青,王挣峰,朱学雷,等. 土壤因子对次生森林群落物种多样性的影响[J]. 武汉植物学研究,1997,15(2):143-150.

[14] 李新荣,张景义,刘立超,等. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性的研究[J]. 植物生态学报,2000,24(3):257-261.

[15] Gentry A H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients[J]. Ann Missouri Bot Gard,1988,75:1-34.

[16] 张继义,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态[J]. 植物生态学报,2004,28(1):86-92.

[17] 孔丽娟,沈吉庆. 腾格里沙漠东南边缘植物群落物种多样性分析[J]. 宁夏农学院学报.2003,24(4):25-29.

Character research of plantation and soil factors in restoration process in sandlot near altiplano bashang

FENG Wei[1,2], ZHANG Wan-jun[1], FENG Xue-zan[1]

(1. *Center for Agricultural Resource Research, Institute of Genetic and Developmental, CAS, Shijiazhuang* 050021, *China*; 2. *Graduate School of CAS, Beijiing* 100039, *China*)

Abstract: The relationship of plantation diversity and soil factors in restoration process was researched. The results showed that plantation diversity was low in early succession stages of restoration process, and soil environmental factors related to species diversity. In order to accelerate the restoration of vegetation, the nutrients and water should be enriched in early succession process in sandlot. Using multivariate statistical analysis techniques (Principle Component Analysis), we found that soil nutrient and soil water had great cumulative effect. So soil factors influenced plantation diversity.

Keywords: sandlot near altiplano Bashang; plantation diversity; soil factors; principle component analysis

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net