

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao

土壤学报

第五十二卷

第一期

二〇一五年一月

科学出版社



中国土壤学会
科学出版社

主办
出版

2015

第52卷 第1期

Vol.52 No.1

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枏生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948 年创刊)

第 52 卷 第 1 期 2015 年 1 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 1 Jan., 2015

编 辑 《土 壤 学 报》编 辑 委 员 会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国 外 发 行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



0 1 >

9 770564 392156

小叶锦鸡儿灌丛化对退化沙质草地土壤孔隙特征的影响*

李宗超^{1,2†} 胡霞^{1,2†}

(1 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

(2 北京师范大学减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

摘 要 以内蒙古太卜寺旗地区退化沙质草地为研究对象, 对该地区的小叶锦鸡儿灌丛化草地中的灌丛斑块和草地斑块分别取原状土柱各三个进行 CT 扫描, 利用 Fiji 软件分析土壤孔隙结构特征的差异。研究表明, 小叶锦鸡儿灌丛化对土壤的孔隙结构有较大影响, 灌丛斑块土壤的总孔隙数、大孔隙数、总孔隙度、大孔隙度和孔隙等效直径均大于草地斑块土壤, 灌丛斑块土壤的平均大孔隙度是草地斑块土壤的 3 倍。草地斑块土壤的大孔隙主要分布在 0~50 mm 土层深度, 而灌丛斑块土壤的大孔隙在 0~400 mm 深度都有分布, 这与土壤中灌丛的丰富根系分布有关。

关键词 小叶锦鸡儿; 灌丛化; 土壤大孔隙; 根系

中图分类号 S152.4 **文献标识码** A

灌丛化是干旱半干旱地区的普遍现象, 遍布于非洲、美洲、澳大利亚、亚洲以及欧洲地中海沿岸国家和地区, 是全球草地生态系统面临的重要生态环境问题^[1-2]。据周道玮^[3]统计, 内蒙古共有小叶锦鸡儿灌丛化草地 500 余万 hm^2 , 占草地总面积的 6.5%。其中, 锡林郭勒盟小叶锦鸡儿灌丛化的沙质草地占该盟沙地草地面积的 36.4%。

很多研究表明, 当灌丛入侵草地时, 木本植物的密度、覆盖度、生物量增加; 草本植物密度、覆盖度及生物量降低^[4-5]。草地灌丛化后影响土壤资源在空间上的分布^[6], 改变了养分在灌丛及草地间的分配格局^[7], 增强土壤性质的异质性, 使草地均匀分布的土壤水分和养分向灌层下聚集, 形成“沃岛”, 即以植物个体为中心, 土壤养分含量由内向外逐渐减少^[8-9]。而“沃岛”的形成进一步加剧了资源的异质化和斑块化, 最终导致草地沙化和荒漠化^[10-11]。赵哈林等^[12]研究表明小叶锦鸡儿及黄柳灌丛下 0~200 mm 土壤中细沙、极细沙、黏粉粒含量均较灌丛外高。Hallmark 和 Allen^[13]发现半干旱草地钙积层深度高于干旱灌丛地, 灌木根系通过水力提升作用可以改变灌丛下土壤水分的再分

配^[14]。因此, 灌丛化影响了干旱半干旱区土壤水分的时空分布, 对区域水循环有重要影响^[15-16]。综上所述, 国内外对草地灌丛化现象主要从地上植被、土壤的理化性质研究, 而对半干旱区灌丛土壤结构的研究, 尤其是灌丛土壤中孔隙的研究相对较少。

土壤孔隙结构特别是大孔隙直接影响水分在土表及土体内的迁移途径及方式, 与土壤表面径流及渗透性之间具有密切关系^[17], 对土壤肥力也有多方面的影响^[18]。大孔隙的存在可形成大孔隙流或优势流, 使浅层土壤中的水分快速渗入土壤深处或地下水中, 加快了地下水响应速度, 增加土壤通气性, 提高降雨的入渗率, 改变了坡地径流的形成过程和不同径流成分的比例^[19-22]。目前, 国内大孔隙的科学研究主要集中在农地和森林水文方面, 重点就土壤大孔隙定义、观测方法、成因分析及水分溶质运移过程模拟等方面进行了研究^[23-25]。大孔隙的观测手段也各不相同, 主要方法分为传统方法、破坏性方法及无损性方法^[26]。其中, 无损性方法即 CT 扫描法, 操作简单、迅速、省时省力, 更重要的是可以保持土样的原状结构, 且能通过三维手段

* 国家自然科学基金项目(41101019)、国家杰出青年科学基金项目(41025001)和国家自然科学基金项目(41471018)资助

† 通讯作者, 胡霞(1978—), 女, 副教授, 博士研究生导师, 主要从事土壤物理及其生态功能研究。E-mail: huxia@bnu.edu.cn

作者简介: 李宗超(1988—), 男, 硕士研究生, 从事土壤物理结构研究。E-mail: 348555963@qq.com

收稿日期: 2014-04-16; 收到修改稿日期: 2014-08-12

对土壤孔隙网络结构进行定量分析^[27]。

本研究选择内蒙古的小叶锦鸡儿灌丛化草地,通过 CT 扫描分析小叶锦鸡儿灌丛化草地的孔隙数量、垂直分布规律,确定草地斑块和灌丛斑块土壤中孔隙的类型和特征。本文旨在揭示小叶锦鸡儿灌丛化对内蒙古沙质草地土壤孔隙结构的影响,为退化沙质草地的植被和土壤恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

选择内蒙古太卜寺旗地区小叶锦鸡儿灌丛化草地作为研究样地,分别在灌丛斑块和草地斑块取原状土柱,采样设置三个重复。土样采集用内径 100 mm、管壁厚度 4 mm、长度 500 mm 的圆柱状 PVC 管(有效使用长度为 400 mm),将 PVC 管的一

端打磨成刀口,沿着事先挖好的剖面轻轻敲入土壤中,采样深度 0 ~ 400 mm,将其压入采集地的土壤中,然后整个取出,用海绵包裹。所得 PVC 管内的原状土称作土芯。表 1 是灌丛斑块和草地斑块的土壤基本理化性质。

1.2 CT 扫描

用北京市石景山医院的 Light Spread VCT(64 排多层螺旋 CT 扫描仪)扫描原状土柱。由于 CT 扫描仪主要用于医学领域的人体扫描,现改为土壤扫描,必须重新设定参数。经调整,峰值电压定为 130 kV,电流为 200 mA,每圈扫描时间为 0.8 s,螺距为 0.984:1。得到大小为 512 × 512 体素的 8 位图,每体素对应 0.625 mm × 0.33 mm × 0.33 mm 的样品。利用软件(Centricity DICOM viewer 3.1)提取得到 jpg 格式图像。

表 1 灌丛和草地斑块土壤的基本理化性质
Table 1 Physiochemical properties of the soils in the shrub patch and grass patch

土层深度 Soil depth (mm)	样地 Sample sites	全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (g kg ⁻¹)	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	土壤机械组成 Soil mechanical composition (mm, %)					
					≥2.00	0.25 ~ 2.00	0.05 ~ 0.25	0.02 ~ 0.05	0.002 ~ 0.02	<0.002
0 ~ 50	草地 ^①	2.19	0.24	29.1	0	21.25	30.87	24.00	0	7.88
	灌丛 ^②	2.23	0.34	32.3	0	22.49	39.63	18.00	12.00	7.88
50 ~ 100	草地 ^①	2.43	0.28	34.3	0	24.11	34.01	20.00	12.00	9.88
	灌丛 ^②	2.06	0.38	30.4	0	23.59	36.53	18.00	12.00	9.88
100 ~ 200	草地 ^①	1.95	0.30	26.8	0	20.50	35.62	20.00	10.00	13.88
	灌丛 ^②	2.00	0.35	16.9	0	23.31	38.81	14.00	10.00	13.88
200 ~ 300	草地 ^①	1.35	0.28	17.2	0	19.15	28.97	22.00	14.00	15.88
	灌丛 ^②	1.28	0.24	15.4	0	20.10	36.02	18.00	10.00	15.88
300 ~ 400	草地 ^①	1.26	0.25	16.3	0	18.85	33.27	20.00	10.00	17.88
	灌丛 ^②	1.15	0.30	15.3	0	17.44	36.68	18.00	10.00	17.88

① Grass patch; ② Shrub patch

1.3 数据处理

首先通过人工制作大孔隙的方法获得阈值。选取一根内径为 10 mm 的 PVC 管垂直放在内径 100 mm 的 PVC 管中央,其周围装满回填土,做成回填土柱。用 CT 扫描仪扫描土柱,扫描完的图片在 Fiji 软件中处理人工制作的大孔隙。设置一个阈值,计算人工大孔隙的大小,与实际的大孔隙大小相比较,如果计算的数值与实际的大小相差较大,再重新设置一个阈值计算人工孔隙大小,直到它们

的差值不超过 1%,得至图像分割的阈值。

将提取的 jpg 格式图像导入 Fiji 软件,用圆形工具提取感兴趣区域,避免切入缝隙。用中值滤波法消除图像噪音,并根据所得到的分割阈值利用全局阈值法处理图像,得到二值图像。利用 Fiji 软件对二值图像分析得到孔隙面积,周长以及孔隙图,利用 Fiji 软件编写脚本程序,对所有图像进行批量处理。对图像去背景处理后,通过 3D viewer 查看器通过体积渲染得到三维大孔隙图,从而更好地观察孔

隙的宏观结构。利用 3D viewer 中的 take snapshot 功能截取图片,如图 1。

将以上图像处理得到数据通过 Matlab 软件,计算得到每一层总的孔隙面积、每一层总的孔隙度、每一层的孔隙数。

数据统计用软件 SPSS 13.0 的单因素 ANOVA 和 LSD 来分析。

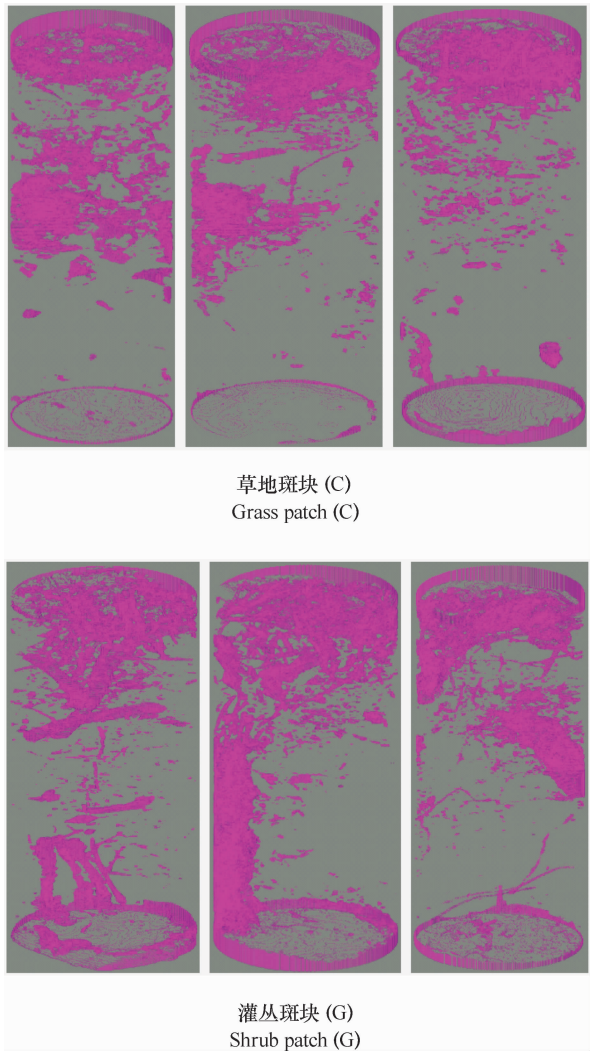
2 结 果

2.1 土壤孔隙的三维形态特征

图 1 是草地斑块土壤(C)和灌丛斑块土壤(G)的孔隙三维图,其中紫色部分表示土壤孔隙。可以看出,灌丛斑块与草地斑块的孔隙分布特征明显不

同,草地斑块的土壤孔隙主要位于 0~50 mm 深度,下部较少,而灌丛斑块土壤的孔隙在 0~150 mm 深度也较多;与草地斑块下的土壤孔隙相比较,灌丛斑块下的土壤孔隙更加具有连续性。

Luo 等^[27]在 2010 年研究指出,由蚯蚓等生物形成的大孔隙相对比较连续、相对比较大、管状;而由根系形成的大孔隙也相对比较连续、圆形,且随深度增加大孔隙呈减小趋势。本研究中,据剖面观察,蚯蚓等生物活动较少,因此孔隙的形成主要是根系作用。草地土壤表层主要是草根形成的孔隙,孔隙更细,且孔隙更曲折;从上到下孔隙总的数量呈减少趋势。灌丛土壤的表层较粗的孔隙是灌木根系形成的,曲折性较低,连通性相对较好;由于是灌丛入侵草地,所以在灌丛土壤的表层存在一些草



注:图片宽度为感兴趣区域直径,长度为 400 mm Note: Width of the picture is the diameter of ROI and length is 400 mm

图 1 草地和灌丛斑块土壤的孔隙三维可视化图

Fig. 1 Three-dimensional visualization of soil pore networks in the soil cores from shrub and grass patches

根形成的较细孔隙,但是分布较少。灌丛斑块和草地斑块土壤孔隙的共同点为随着土壤深度的增加,孔隙的大小、形状和位置都在发生变化,且在土芯中部存在形状各异的小孔隙,连通性较差。

2.2 土壤的孔隙数量特征

Luxmoore^[28]在1981年研究指出,土壤孔隙由大孔隙(macropores,直径大于1 000 μm)、中孔隙(mesopores,直径200~1 000 μm)等组成。由于图片分辨率为330 μm,文中的中孔隙包括直径330~1 000 μm的孔隙。

表2为灌丛和草地斑块土壤不同深度的孔隙数量和等效直径分布情况,利用统计分析方法得到均值、标准误差及差异显著性值。

可以看出,灌丛和草地土壤孔隙主要集中在0~200 mm土层深度;在0~200 mm深度,灌丛斑块和草地斑块的土壤孔隙特征明显不同,灌丛斑块土壤总孔隙数、大孔隙数和中孔隙数都显著大于草地斑块土壤。如在土壤表层(0~100 mm),灌丛斑块土壤的大孔隙平均数量是24(土壤的总孔隙数是

36),而草地斑块土壤的大孔隙数量是14(土壤的总孔隙数是23)。随着土层深度的增加,土壤的孔隙数量均呈下降趋势。随着深度增加孔隙数目不断减少,各个深度的孔隙数目差异并不明显,但表层和深层的差异相对显著。

在0~100、100~200、200~300和300~400 mm的土层深度,灌丛土壤的大孔隙分别占总孔隙的66.67%、59.10%、55.56%和62.50%,草地土壤的大孔隙分别占总孔隙的60.87%、50.00%、40.00%和66.67%。因此,土壤大孔隙所占比例在土层中呈现先降低后增加的趋势。

灌丛斑块土壤的大孔隙等效直径明显大于草地斑块土壤,特别是表层和下层土壤(0~100 mm和300~400 mm)。在0~100 mm和300~400 mm土层深度,灌丛斑块土壤的大孔隙等效直径分别是2.05 mm和1.94 mm,草地斑块表层的大孔隙等效直径分别是1.48 mm底层几乎不存在大孔隙,这是因为灌丛斑块下层土壤根系对大孔隙的形成起主导作用。

表2 草地斑块和灌丛斑块土壤的孔隙数和总孔隙的等效直径
Table 2 Number and equivalent diameter of soil pores in shrub and grass patches

土层深度 Soil depth(mm)	总孔隙数		大孔隙数		中孔隙数		等效直径	
	Number of total pores		Number of macropores		Number of mesopores		Equivalent diameter (mm)	
	草地 ^①	灌丛 ^②	草地 ^①	灌丛 ^②	草地 ^①	灌丛 ^②	草地 ^①	灌丛 ^②
0~100	23(7.07)a	36(3.18)b	14(3.00)a	24(1.86)b	9(2.50)a	12(0.67)b	1.48(0.07)a	2.05(0.03)b
100~200	10(6.00)a	22(5.46)a	5(3.00)a	13(3.00)a	5(3.00)a	10(2.60)a	1.38(0.10)a	1.96(0.20)a
200~300	5(1.86)a	9(2.52)a	2(0.88)a	5(1.52)a	3(1.00)a	4(1.00)a	1.70(0.36)a	2.00(0.41)a
300~400	3(1.53)a	8(4.04)a	2(0.58)a	5(1.53)a	1(0.33)a	3(0.88)a	0(0)a	1.94(0.42)a

注:同一行中小写字母代表草地和灌丛斑块之间的显著性差异, $p < 0.05$ 。Note:Lowercase letters represent significant difference at $p < 0.05$ between grass and shrub patch. ① Grass patch; ② Shrub patch.

2.3 土壤孔隙度特征

图2是灌丛和草地斑块土壤的大孔隙度和总孔隙随土壤深度变化特征。从中可以看出,灌丛斑块土壤的大孔隙和总孔隙度都大于草地斑块土壤,灌丛斑块土壤的平均大孔隙度是草地斑块土壤3倍;且草地斑块和灌丛斑块土壤大孔隙度的变化趋势基本一致,都呈波状曲线分布。

对于灌丛斑块,土壤表层的大孔隙度较大,如在16 mm深度,土壤的大孔隙度为8.14%,这与表层土壤较疏松有关;随着土壤深度的增加(0~50 mm),土壤的大孔隙度呈现下降的趋势,在此土层灌丛斑块土壤的平均大孔隙度(5.91%)大于草地斑块土壤的平均大孔隙度(4.27%);100~

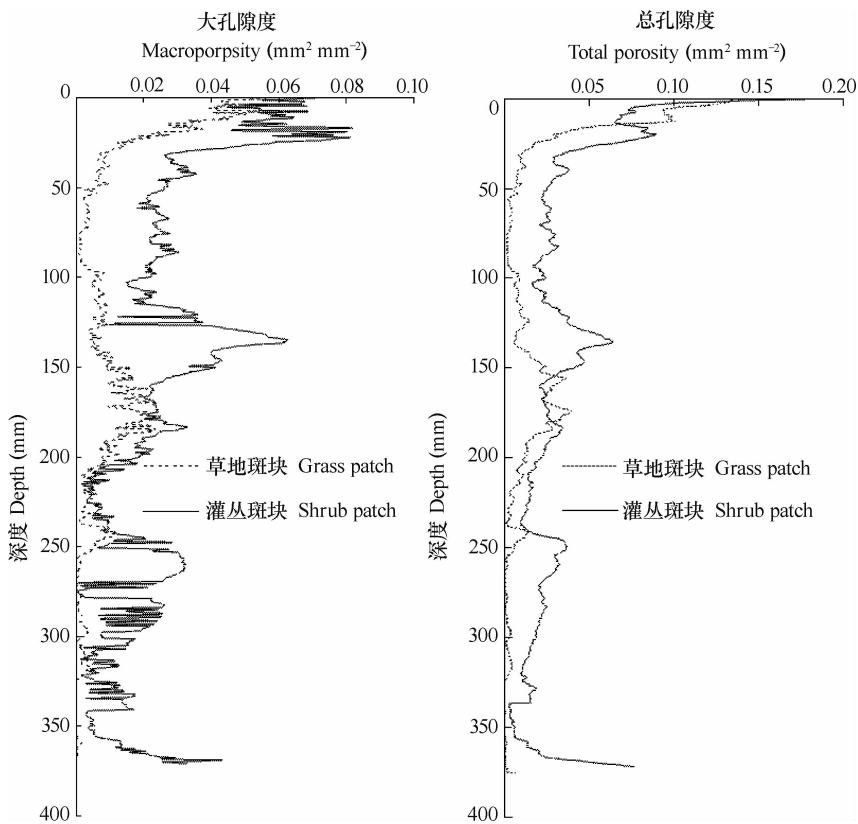
200 mm土层大孔隙度呈现急剧上升然后逐渐下降趋势,此土层灌丛斑块土壤的平均大孔隙度(6.37%)亦大于草地斑块的土壤(3.96%),且在135 mm深度,土壤的大孔隙度达到峰值为6.27%,这与灌丛的根系分布是一致的。随着土壤深度的增加(200~380 mm),土壤的大孔隙亦呈现波状曲线分布,但是总体上呈下降趋势。灌丛剖面土壤的大孔隙分布与灌丛斑块土壤剖面的根系分布相一致。据剖面观测,在灌丛斑块土壤中,0~400 mm中都有根系分布,而在130~180 mm土层中,灌丛的根系分布相对较多;而草地斑块土壤中,0~50 mm深度土层中草本根系分布较多。

草地斑块土壤的大孔隙度与灌丛斑块土壤的

趋势大致相同,但是变化相对较平缓,这与草地斑块土壤中的草本根系分布有关。大孔隙度在 50 mm 深度急剧下降,在 150 ~ 200 mm 土层逐渐增加。这也与剖面观测的草本根系分布相一致,草地斑块土壤剖面的根系主要分布在 0 ~ 50 mm。

对比大孔隙度和总孔隙度随土壤深度变化图可以看出,两种斑块土壤中大孔隙占总孔隙的比重较大,其中草地斑块大孔隙占总孔隙的 70. 13%,灌

丛斑块大孔隙占总孔隙的 78. 32%。在 0 ~ 10 mm 以及 160 ~ 180 mm 深度草地斑块总孔隙度大于灌丛斑块土壤,在 10 ~ 160 mm 和及 180 ~ 380 mm 土层深度草地斑块总孔隙度均小于灌丛斑块土壤。灌丛斑块的总孔隙度及大孔隙度在 350 ~ 380 mm 深度均有所增大,这与灌丛根系在土壤更深层的分布有关。



注:总孔隙度是指土芯断面中总的孔隙面积与断面总面积的比值;大孔隙度是指土芯断面中大孔隙的总面积与断面面积的比值。Note:Total porosity refers to the ratio of the total area of all the pores in the section of a soil pore vs the total area of the section of the soil core; The macroporosity refers to the ratio of the total area of all the macropores in the section of a soil core vs the total area of the section of the soil core

图 2 灌丛和草地斑块土壤的大孔隙度和总孔隙随土壤深度变化特征

Fig. 2 Variation of macroporosity and total porosity along with the soil depth in grass patch and shrub patch

3 结 论

灌丛斑块土壤的总孔隙数量、中孔隙数量、大孔隙数量、大孔隙度和大孔隙直径均显著大于草地斑块土壤。草地斑块土壤和灌丛斑块土壤的大孔隙度在表层都相对较大。草地斑块土壤的大孔隙主要分布在 0 ~ 50 mm 深度,在 128 ~ 224 mm 深度处土壤的大孔隙相对较大;而灌丛斑块土壤的大孔隙在 0 ~ 500 mm 深度都有分布,在 130 ~ 180 mm 土

层深度处出现峰值。这与土壤剖面中根系分布相一致。

参 考 文 献

[1] Reynolds J F, Virginia R A, Kemp P R, et al. Impact of drought on desert shrubs: Effects of seasonality and degree of resource island development. *Ecological Monographs*, 1999, 69 (1): 69—106

[2] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, et al. Biological feedbacks in global desertification. *Science*, 1990, 247: 1043—1048

- [3] 周道玮. 内蒙古小叶锦鸡儿灌丛化草地. 内蒙古草业, 1990, 3: 17—19. Zhou D W. Shrub (*Caragana microphylla* Lam) grassland in Inner Mongolia (In Chinese). Inner Mongolia Prataculture, 1990, 3: 17—19
- [4] Knapp A K, Briggs J M, Collins S L, et al. Shrub encroachment in North American grasslands: Shifts in growth form dominance rapidly alters control of ecosystem carbon inputs. *Global Change Biology*, 2008, 14: 615—623
- [5] Knapp A K, McCarron J K, Silletti A M, et al. Ecological consequences of the replacement of native grassland by *Juniperus virginiana* and other woody plants//van Auken O W. Western north american juniperus communities. New York, USA: Springer, 2008: 156—169
- [6] Schlesinger W H, Raikes J A, Hartley A E. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, 1996, 77: 364—374
- [7] Li J, Okin G S, Alvarez L J, et al. Effects of wind erosion on the spatial heterogeneity of soil nutrients in two desert grassland communities. *Biogeochemistry*, 2008, 88: 73—88
- [8] Crawford CS, Gosz J R. Desert ecosystems; Their resources in space and time. *Environmental Conservation*, 1982, 9: 181—195
- [9] Garner W, Steinberger Y A. Proposed mechanism for the formation of fertile islands in the desert ecosystem. *Journal of Arid Environment*, 1989, 16: 257—262
- [10] Evenari M, Noy-Meir I, Goodall D W. Hot deserts and arid shrublands. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1985: 93—103
- [11] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, et al. Biological feedback in global desertification. *Science*, 1990, 247: 1043—1048
- [12] 赵哈林, 苏永中, 张华, 等. 灌丛对流动沙地土壤特性和草本植物的影响. 中国沙漠, 2007(3): 385—396. Zhao H L, Su Y Z, Zhang H, et al. Multiple effects of shrub on soil properties and understory vegetation in Horqin Sand Land, Inner Mongolia (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2007(3): 385—396
- [13] Hallmark C T, Allen B L. The distribution of creosote bush in West Texas and Eastern New Mexico as affected by selected soil properties. *Soil Science Society of American Proceedings*, 1975, 39: 120—124
- [14] Caldwell M M, Richards J H. Hydraulic lift: Water efflux from upper roots improves effectiveness of water uptake by deep roots. *Oecologia*, 1989, 79: 1—5
- [15] Poesen J, Ingelmo-Sanchez F. Runoff and sediment yield from top-soils with different porosity as affected by rock fragment cover and position. *Catena*, 1992, 19: 451—474
- [16] D'Odorico P, Caylor K, Okin G S, et al. On soil moisture-vegetation feedbacks and their possible effects on the dynamics of dryland ecosystems. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112: G04010, doi: 10. 1029/2006JG000379
- [17] Dunkerley D L. Assessing the influence of shrubs and their inter-spaces on enhancing infiltration in an arid Australian shrubland. *Rangeland Journal*, 2000, 22: 58—71
- [18] Edwards W M, Norton L D, Redmond C E. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52(2): 483—487
- [19] Germann P F, Beven K. A distribution function approach to water flow in soil macropores based on kinematic wave theory. *Journal of Hydrology*, 1986, 83: 173—183
- [20] Moldrup P, Olesen T, Gamst J, et al. Predicting the gas diffusion coefficient in repacked soil water-induced linear reduction model. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(5): 1588—1594
- [21] Moldrup P, Olesen T, Yamaguchi T, et al. Tortuosity, diffusivity, and permeability in the soil liquid and gaseous phases. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(3): 613—623
- [22] Coppola A, Basile A, Nomegna A, et al N. Monte Carlo analysis of field water flow comparing uni- and bimodal effective hydraulic parameters for structured soil. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2009, 104(1/4): 153—165
- [23] 邱琳, 吴华山, 陈效民, 等. 利用染色示踪和图像处理技术对土壤大孔隙进行定量研究. 土壤, 2007, 39(4): 621—626. Qiu L, Wu H S, Chen X M, et al. Quantitative study on soil macropores by dye tracing and image processing (In Chinese). *Soils*, 2007, 39(4): 621—626
- [24] 石辉, 王峰, 李秧秧. 黄土丘陵区人工油松林地土壤大孔隙定量研究. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 28—32. Shi H, Wang F, Li Y Y. Quantitative studies on soil macropores under artificial Chinese pine (*Pinus tabulaeformis* Carr.) forest in loess hilly region (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(1): 28—32
- [25] 李伟莉, 金昌杰, 王安志. 长白山主要类型森林土壤大孔隙数量与垂直分布规律. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2179—2184. Li W L, Jin C J, Wang A Z. Amount and vertical distribution of macropores in forest soils in Changbai Mountains (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2179—2184
- [26] 程亚南, 刘建立, 张佳宝. 土壤孔隙结构量化研究进展. 土壤通报, 2012, 43(4): 988—992. Cheng Y N, Liu J L, Zhang J B. Advance in the study on quantification of soil pore structure (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43(4): 988—992
- [27] Luo L F, Lin H, Li S C. Quantification of 3-D soil macropore networks in different soil types and land uses using computed tomography. *Journal of Hydrology*, 2010, 393: 53—64
- [28] Luxmoore R J. Micro-, meso-, and macroporosity of soil. *Soil Science Society of America Journal*, 1981, 45: 671—672

EFFECTS OF SHRUB (*CARAGANA MICROPHYLLA* LAM) ENCROACHMENT
ON SOIL POROSITY OF DEGRADED SANDY GRASSLAND

Li Zongchao^{1,2} Hu Xia^{1,2†}

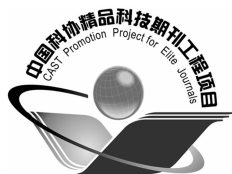
(1 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(2 Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Samples of undisturbed soil core were collected, 3 each, from a shrub patch and a grass patch in a tract of degraded sandy grassland encroached by shrub, *Caragana microphylla* Lam, in Taibus Banner of Inner Mongolia. Analysis of soil porosity is based on CT scanning and Fiji software. we analyze the pore parameters (such as porosity & equivalent diameter) with matlab based on 2D section images in every slice, and obtain trends of variations of pore parameters with depth. In additon, we can realize 3-D visualization of pores network with Fiji and qualitative description of soil pore distribution. Results show that shrub encroachment affected soil porosity and pore structure significantly. As a result, the soil in the shrub patch was much higher than that in the grass patch in total number of soil pores, number of macropores (>1 000 μm), total porosity, macroporosity, and mean of equivalent pore diameter, and especially in mean macroporosity, the former was 3 times as high as the latter. In the grass patch, macropores were distributed mainly in the 0 ~ 50 mm soil layer, while in the shrub patch, they were found throughout the 0 ~ 400 mm soil layer, which is closely related to the well-developed root system of the shrubs.

Key words *Caragana microphylla* Lam; Shrub encroachment; Soil macropores; Root system

(责任编辑:汪枳生)



综述与评论

农业土壤学研究:侯光炯学术思想形成之考察——纪念侯光炯先生诞辰 110 周年..... 申丽娟 丁恩俊 陈绍兰等(1)

土壤多样性研究趋势与未来挑战 任圆圆 张学雷(9)

土壤磷酸盐氧同位素分析方法和应用研究进展 张 晗 王佳妮 郭庆军等(19)

研究论文

土壤制图多等级代表性采样与分层随机采样的对比研究 杨 琳 朱阿兴 张淑杰等(28)

河南省典型淋溶土土系划分研究 鞠 兵 吴克宁 李 玲等(38)

黄土坡面细沟侵蚀发育过程与模拟 吴淑芳 刘政鸿 霍云云等(48)

黄土丘陵区小流域土壤有效水空间变异及其季节性特征 高晓东 吴普特 张宝庆等(57)

科尔沁沙丘-草甸相间地区表土饱和和导水率的土壤传递函数研究 孙 丽 刘廷玺 段利民等(68)

砒砂岩风化物对土壤水分特征曲线及蒸发的影响 张 磊 齐瑞鹏 张应龙等(77)

稳定同位素²⁰²Hg 稀释技术测定土壤汞有效性——与化学提取方法比较 郑顺安 徐志宇 王 飞等(87)

土壤提取液中酰基高丝氨酸内酯的气相色谱-质谱检测方法优化 生弘杰 宋 洋 卞永荣等(95)

复合污染土壤中土霉素的吸附行为及其对土壤重金属解吸影响的研究 陈励科 马婷婷 潘 霞等(104)

污染区千金子和酢浆草根际土壤中 PAHs 结合态残留的梯度分布 王意泽 高彦征 彭安萍等(112)

土壤磷解吸特性对菜稻轮作田间渗漏水总磷浓度的影响 章明清 李 娟 孔庆波(120)

湖区小麦-玉米轮作模式下不同施肥措施调控氮磷养分流失研究 谭德水 江丽华 谭淑樱等(128)

鄱阳湖洲滩湿地土壤-水-植物系统中磷的静态迁移研究 徐 进 徐力刚 丁克强等(138)

菇菜套作对土壤微生物群落的影响 陈 敏 王军涛 冯有智等(145)

黄土高原油松根际土壤酶活性及真菌群落多样性研究——以黄龙山林场为例 褚洪龙 李 莎 唐 明(154)

硅介导番茄青枯病抗性的土壤定量蛋白质组学研究 陈玉婷 林威鹏 范雪滢等(162)

有机无机肥配施对红壤旱地花生生理特性、产量及品质的影响 许小伟 樊剑波 陈 晏等(174)

氮素富集对青藏高原高寒草甸土壤有机碳迁移和累积过程的影响 李林森 程淑兰 方华军等(183)

长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究 何翠翠 王立刚 王迎春等(194)

火烧和保留采伐剩余物对土壤有机碳矿化的影响 吴君君 杨智杰 刘小飞等(203)

研究简报

碳氮稳定同位素检测能力的验证——2013 年实验室间比对分析结果的汇总 曹亚澄 韩 勇 唐昊冶等(212)

土壤厚度的划分标准与案例研究 易 晨 李德成 张甘霖等(220)

积盐条件下土壤酸化过程的特异性研究 王媛华 段增强 赵 宇等(228)

四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究 张 智 王伟妮 李 昆等(234)

小叶锦鸡儿灌丛化对退化沙质草地土壤孔隙特征的影响 李宗超 胡 霞(242)

信息

《土壤学报》2013 年度优秀论文评选揭晓 (241)

封面图片:黄土坡面细沟形态发育过程(由吴淑芳提供)

CONTENTS

Reviews and Comments

Agricultural soil science research: Formation of Hou Kuangchun's academic thought—Celebrate 110th anniversary of Mr Hou Kuangchun's birth	Shen Lijuan, Ding Enjun, Chen Shaolan, et al. (8)
Study on pedodiversity: Status quo and future challenges	Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei(17)
Advance in study on method for oxygen isotopic analysis of phosphate in soil and its application	Zhang Han, Wang Jiani, Guo Qingjun, et al. (26)

Research Articles

A comparative study of multi-grade representative sampling and stratified random sampling for soil mapping	Yang Lin, Zhu A-xing, Zhang Shujie, et al. (37)
Classification of Typical Argosols of Henan Province at soil series level of Chinese Soil Taxonomy	Ju Bing, Wu Kening, Li Ling, et al. (47)
Development of rill erosion on loess slope and its simulation	Wu Shufang, Liu Zhenghong, Huo Yunyun, et al. (55)
Spatial variability of available soil moisture and its seasonality in a small watershed in the hilly region of the Loess Plateau	Gao Xiaodong, Wu Pute, Zhang Baoqing, et al. (66)
Prediction of saturated hydraulic conductivity of surface soil in sand-dune-and-meadow interlaced region of Horqin with pedo-transfer functions method	Sun Li, Liu Tingxi, Duan Limin, et al. (75)
Effects of amendment of aeolian sandy soil and loess with soft sandstone on soil water retention curve and evaporation	Zhang Lei, Qi Ruipeng, Zhang Yinglong, et al. (85)
Comparison between stale isotope ²⁰² Hg dilution technique and chemical extraction in determining Hg availability in two typical soils of China	Zheng Shunan, Xu Zhiyu, Wang Fei, et al. (94)
Optimization of determination of N-acyl-homoserine lactones in soil solution with Gas-Chromatography-Mass Spectrometry	Sheng Hongjie, Song Yang, Bian Yongrong, et al. (102)
Sorption behavior of oxytetracycline in complex contaminated soil and its effects on desorption of heavy metals in the soil	Chen Like, Ma Tingting, Pan Xia, et al. (111)
Gradient distribution of bound-PAH residues in different layers of rhizosphere soils of moleplant and wood sorrel growing in polluted regions	Wang Yize, Gao Yanzheng, Peng Anping, et al. (118)
Soil P desorption characteristics and their effects on total P concentration in percolating water in fields under vegetable-rice rotation system	Zhang Mingqing, Li Juan, Kong Qingbo(127)
Effects of fertilization controlling nitrogen and phosphorus loss from farmland under wheat-maize rotation in Nansi Lake region	Tan Deshui, Jiang Lihua, Tan Shuying, et al. (137)
Static transfer of phosphorus in the soil-water-plant system of beach wetlands in Poyang Lake	Xu Jin, Xu Ligang, Ding Keqiang, et al. (144)
Changes in soil microbial community in response to tomato- <i>Agaricus bisporus</i> interplanting	Chen Min, Wang Juntao, Feng Youzhi, et al. (152)
Soil enzyme activity and fungal community diversity in rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Carr. growing on Loess Plateau— A case study of Huanglongshan forest farm	Chu Honglong, Li Sha, Tang Ming(161)
Soil quantitative proteomic analysis of silicon-mediated resistance of tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) to <i>Ralstonia solanacearum</i>	Chen Yuting, Lin Weipeng, Fan Xueying, et al. (172)
Effect of manure combined with chemical fertilizer application on yield, kernel quality and physiological characteristics of peanut to red soil in subtropical China	Xu Xiaowei, Fan Jianbo, Chen Yan, et al. (181)
Effects of nitrogen enrichment on transfer and accumulation of soil organic carbon in alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau	Li Linsen, Cheng Shulan, Fang Huajun, et al. (192)
Effect of long-term fertilization on labile organic matter in and carbon pool management index of black soil	He Cuicui, Wang Ligang, Wang Yingchun, et al. (202)
Effect of prescribed burning and reservation of logging residues on soil organic carbon mineralization	Wu Junjun, Yang Zhijie, Liu Xiaofei, et al. (210)

Research Notes

Testing of proficiency for measurement of carbon and nitrogen stable isotopes ...	Cao Yacheng, Han Yong, Tang Haoye, et al. (218)
Criteria for partition of soil thickness and case studies	Yi Chen, Li Decheng, Zhang Ganlin, et al. (227)
Specificity of soil acidification affected by salt accumulation	Wang Aihua, Duan Zengqiang, Zhao Yu, et al. (233)
Effects of nitrogen fertilization on rice in different regions of Sichuan Province	Zhang Zhi, Wang Weini, Li Kun, et al. (240)
Effects of shrub (<i>Caragana microphylla</i> Lam) encroachment on soil porosity of degraded sandy grassland	Li Zongchao, Hu Xia(248)

Cover Picture: Rill morphological development process on loess slope (by Wu Shufang)