ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第11期

Vol.33 No.11

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双奖期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第 33 卷 第 11 期
2012 年 11 月 15 日

目 次

京津冀与长三角区域大气 NO_2 污染特征 …… 王英,李令军,刘阳(3685)
2008~2011 年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析 …… 杨俊益,辛金元,吉东生,朱彬(3693)
沧州市大气污染特征观测研究 …… 王永宏,胡波,王跃思,刘伟,张武(3705)
华北工业城市降水中金属元素污染特征及来源 …… 李月梅,潘月鹏,王跃思,王英锋,李杏茹(3712)
广州市交通主干道空气中苯系物的测量 …… 叶丛雷,谢品华,秦敏,凌六一,郑尼娜,刘文彬,黄祖照(3718)
基于实时交通信息的道路机动车动态排放清单模拟研究 …… 黄成,刘娟,陈长虹,张健,刘登国,朱景瑜,黄伟明,巢渊(3725)
柴油轿车燃用煤基 F-T 合成油的排放特性 …… 胡志远,程亮,谭丕强,楼狄明(3733)
九龙江口滨海湿地生源要素空间分布特征 …… 余小青,杨军,刘乐冕,田原,余正,王昌付(3739)
南四湖水体氮、磷营养盐时空分布特征及营养状态评价 …… 舒凤月,刘玉配,赵颖,吴艳鹏,李爱华(3748)
天目湖流域湿地对氮磷输出影响研究 …… 李兆富,刘红玉,李恒鹏(3753)
北京市新建城区不透水地表径流 N、P 输出形态特征研究 …… 李立青,吕书丛,朱仁肖,刘泽权,单保庆(3760)
云南阳宗海砷的分布与来源 …… 张玉玺,向小平,张英,陈玺,刘景涛,王金翠,张媛静,孙继朝(3768)
南方某城市地表水体中粪源性污染指示微生物的分布特征研究 …… 孙傅,沙婧,刘彦华(3778)
三峡库区大宁河藻细胞昼夜垂直迁移研究 …… 张永生,郑丙辉,姜霞,郑浩,钟娜,陈春宵(3787)
江淮农村生态型排水系统构建及截污作用研究 …… 单保庆,李楠,唐文忠(3797)
人工湿地植物床-沟壕系统水质净化效果 …… 汪仲琼,张荣斌,陈庆华,魏宏斌,王为东(3804)
潜流人工湿地演变对废水中有机物、氮及磷去除的影响 …… 魏泽军,谢建平,黄玉明(3812)
人工湿地处理含盐生活污水的特性研究 …… 高锋,杨朝晖,李晨,金卫红,邓一兵(3820)
催化湿式氧化法降解水中的 β-萘酚 …… 刘杰,于超英,赵培庆,陈革新(3826)
ZVI/EDDS/Air 体系降解水中 2,4-二氯酚的研究 …… 孙倩,周海燕,曹梦华,吴琳娜,王琳玲,陈静,陆晓华(3833)
微波改性 MWNTs/TiO_2 复合材料对 1,2,3-三氯苯的光催化降解研究 …… 施周,张茜,张伟,徐舜开,张骅(3840)
腐殖酸对生物炭去除水中Cr(Ⅵ)的影响机制研究 …… 丁文川,田秀美,王定勇,曾晓岚,徐茜,陈健康,艾小雨(3847)
臭氧氧化-活性污泥法处理含 PVA 工业废水的试验研究 …… 邢晓琼,黄程兰,刘敏,陈滢(3854)
复合底物对颗粒化 EBPR 系统除磷特性的影响及优化试验研究 …… 徐少娟,孙培德,郑雄柳,董毅(3859)
进水比例对水解反应器出水水质的影响研究 …… 梁康强,熊娅,戚茂荣,林秀军,朱民,宋英豪(3868)
厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场渗滤液水质水量变化规律的研究 …… 韩智勇,刘丹,李启彬,陈馨(3873)
我国城市污水处理回用调查研究 …… 郭宇杰,王学超,周振民(3881)
炔雌醇和壬基酚在土壤中的吸附-解吸特征 …… 姜鲁,王继华,李建忠,辛佳,李淼,刘翔(3885)
黄土丘陵区刺槐林深层土壤有机碳矿化特征初探 …… 马昕昕,许明祥,杨凯(3893)
半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应 …… 卫伟,温智,陈利顶,陈瑾,吴东平(3901)
广西大石围巨型漏斗土壤中多环芳烃与环境因素 …… 孔祥胜,祁士华,蒋忠诚,黄保健(3905)
酸性条件下黄铁矿氧化机制的研究 …… 王楠,易筱筠,党志,刘云(3916)
淋洗条件下砂土和粉土水盐运移过程的监测研究 …… 付腾飞,贾永刚,郭磊,刘晓磊(3922)
空气注射修复苯污染地下水模拟研究 …… 樊艳玲,姜林,张丹,钟茂生,贾晓洋(3927)
不同终点检测 5 种双酚 A 类化合物对 MCF-7 的细胞毒性 …… 张帅帅,刘堰,刘树深,朱祥伟(3935)
上海世博园后滩湿地桤足类群落特征及其对环境因子的响应 …… 陈立婧,吴艳芳,景钰湘,王聪,张饮江(3941)
耐盐石油烃降解菌的筛选鉴定及其特性研究 …… 吴涛,谢文军,依艳丽,李小彬,王君,胡相明(3949)
高效降酚菌株 *Ochrobactrum* sp. CH10 生长动力学和苯酚降解特性的研究 …… 陈晓华,魏刚,刘思远,孙江曼,王芳芳,李昊塬,刘宇军(3956)
四溴双酚 A 好氧降解菌的筛选及其降解特性研究 …… 钱艳园,刘莉莉,于晓娟,丁丛,王志平,施玉衡,李晨君(3962)
长期施用有机和无机肥对黑土 *nirS* 型反硝化菌种群结构和丰度的影响 …… 尹昌,范分良,李兆君,宋阿琳,朱平,彭畅,梁永超(3967)
三氯乙烯在不同土壤中的吸附特性及其影响因素研究 …… 何龙,邱兆富,吕树光,逯志昌,王治立,隋倩,林匡飞,刘勇弟(3976)
多菌灵在农田土壤中的降解及其影响因子研究 …… 肖文丹,杨肖娥,李廷强(3983)
硫化物对垃圾掺烧污泥焚烧飞灰高温过程中重金属挥发的影响 …… 刘敬勇,孙水裕(3990)
关于医疗垃圾飞灰中二噁英在惰性气氛下的低温热脱附研究 …… 纪莎莎,李晓东,徐旭,陈彤(3999)
第七届环境模拟与污染控制学术研讨会论文
稻田气溶胶 NH_3 和气体 NO_x 排放在线测定研究 …… 龚巍巍,栾胜基(4006)
一种可同时检测挥发性氯代烷烃和氯代烯烃的电子鼻的研制 …… 文晓刚,刘锐,蔡强,万梅,汤灵容,陈吕军(4012)
基于被动采样技术的垃圾焚烧厂及周边大气中 PAHs 分布研究 …… 孙少艾,李洋,周轶,王海蛟,孙英(4018)
涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别 …… 丁晓雯,沈珍瑶(4025)
人工湿地不同区域基质磷含量的差异分析 …… 曹雪莹,种云霄,余光伟,仲海涛(4033)
基于 RT-qPCR 选择性检测水中活性病原菌 …… 林怡雯,李丹,吴舒旭,何苗,杨天(4040)
消毒副产物生成的温度影响和动力学模型 …… 张小璐,杨宏伟,王小伦,付静,解跃峰(4046)
一种厌氧微观定量研究新方法 …… 张仲良,吴静,蒋剑凯,姜洁,李怀志(4052)
梧桐树叶作为反硝化碳源的研究 …… 熊剑锋,徐华,阎宁,张永明(4057)
降解蒽嗜盐菌 AD-3 的筛选、降解特性及加氧酶基因的研究 …… 崔长征,冯天才,于亚琦,董斐,杨昕梅,冯耀宇,刘勇弟,林汉平(4062)
《环境科学》征订启事(3711) 《环境科学》征稿简则(3767) 信息(3998,4039,4045,4056) 专辑征稿通知(4051)

半干旱黄土丘陵区土壤结皮的地表水文效应

卫伟[1],温智[2],陈利顶[1],陈瑾[3],吴东平[3]
(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085; 2. 宁夏大学西部生态研究中心,银川 750021; 3. 定西市水土保持科学研究所,定西 743000)

摘要: 黄土高原广泛分布的土壤结皮对地表水文过程有重要影响. 以定西黄土丘陵区安家沟小流域内的土壤结皮为研究对象,基于野外采样和水文模拟实验等技术,探讨不同土壤结皮类型对地表水文过程的影响. 结果表明: ①与裸地相比,有结皮覆盖的地表土壤容重较小,土壤持水能力显著增强,其增加幅度为裸地的 1.4 ~ 1.9 倍; ②土壤结皮可有效拦截降雨,以苔藓结皮的拦截能力最强,其次为混生结皮和地衣结皮,无结皮覆盖的裸地抵御降雨冲击的能力最差; ③模拟实验显示,土壤结皮能在一定程度上增加水分入渗速率及总入渗量. 有结皮覆盖的平均地表入渗速率是裸地的近 2 倍,而其累计入渗总量也远远高于裸地.

关键词: 黄土高原; 土壤结皮; 水文效应; 降雨模拟; 入渗特征
中图分类号: X143; P332 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2012)11-3901-04

Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area

WEI Wei[1], WEN Zhi[1,2], CHEN Li-ding[1], CHEN Jin[3], WU Dong-ping[3]
(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. United Research Center for Exploitation of Ecology and Biological Resources in Western China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3. Dingxi Institute of Soil and Water Conservation, Dingxi 743000, China)

Abstract: Soil crusts are distributed extensively in the Chinese Loess Plateau and play key roles in surface hydrological processes. In this study, a typical loess hilly region in Anjiagou catchment, Dingxi city, Gansu province was selected as the study region, and soil crusts in the catchment were investigated. Then, the hydrological effect of soil crusts was studied by using multi-sampling and hydrological monitoring experiments. Several key results were shown as follows. Firstly, compared with bared soil without crust cover, soil crusts can greatly reduce the bulk density, improve the porosity of soil, and raise the holding capacity of soil moisture which ranges from 1.4 to 1.9 times of that of bared soil. Secondly, the role of soil crust on rainfall interception was very significant. Moss crust was found to be strongest on rainfall interception, followed by synantectic crusts and lichen crusts. Bared soil without covering crusts was poorest in resisting rainfall splash. Thirdly, hydrological simulation experiments indicate that soil crusts play a certain positive role in promoting the water infiltration capacity, and the mean infiltration rate of the crusted soil was 2 times higher than that of the no-crust covered soils. While the accumulated infiltrated water amounts was also far higher than that of the bared soil.

Key words: the Loess Plateau; soil crust; hydrological effects; rainfall simulation; infiltration

土壤结皮是由土壤微生物、藻类、地衣和苔藓等孢子植物类群与土壤表层有机结合形成的复合体,广泛存在于干旱半干旱生态系统中,具有重要的生态水文调节功能[1,2]. 地处我国半干旱区的黄土高原气候干旱、植被退化、水土流失严重,生态环境十分脆弱[3,4]. 特别是近年来,为有效防治水土流失、实现生态系统良性循环,黄土高原地区先后实施了退耕还林和天然林保护工程,人为干扰程度减弱,加之当地相对于荒漠化地区较好的土壤、水分条件,土壤结皮得以充分发育,成为普遍存在的地被物[5,6]. 土壤结皮的形成显著影响该地区土壤的理化属性,进而对径流入渗、土壤侵蚀、水分蒸发、生物地球化学循环过程产生重要影响[7]. 其中,有关土壤结皮对降水入渗影响依然存在较大争议,有研究认为生物结皮的存在有利于水分入渗[8,9],有研究则认为其存在降低了水分入渗[10,11],甚至少数研究认为它们之间不存在任何影响[12].

鉴于此,本研究以位于黄土高原退耕撂荒地上的 3 种结皮(苔藓结皮、地衣结皮、苔藓-地衣混生结皮) 为对象,综合利用野外采样、室内分析和降雨模拟实验等多元手段,深入探讨和界定不同土壤结皮的水文效应,以期为区域水土资源管理提供理论和科学依据.

1 研究区域概况

研究区选择在甘肃定西安家沟小流域内,海拔

收稿日期: 2012-03-28; **修订日期**: 2012-05-06
基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(40925003); 国家自然科学基金项目(40801041)
作者简介: 卫伟(1978 ~),男,博士,副研究员,主要研究方向为生态水文学,E-mail: weiwei@ rcees. ac. cn

1 900 ~ 2 000 m,流域面积 8.91 km^2. 该流域属中温带半干旱气候区,多年平均气温 6.3℃,≥10℃年积温 2 239℃,极端最高气温 34.3℃,极端最低气温 -27.1℃,年均降水量 427 mm,降水稀少且时空分布不均,其中 60% 以上集中在 7 ~ 9 月,且多暴雨. 该地区的土壤主要是黄绵土母质基础上发育起来的灰钙质土,平均厚度 40 ~ 60 m. 土壤结构具有垂直节理,土质疏松,湿陷性强,水土流失严重,属于典型的半干旱黄土丘陵沟壑区. 流域内的主要植被类型有柠条(*Caragana intermedia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、赖草(*Leymus secalinus*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、茭蒿(*Artemisia giraldii*)等.

2 研究方法

2.1 样地选择

经过实地踏勘,选取人为扰动少、生物结皮发育相对完整的撂荒地作为立地背景,筛选出苔藓结皮、地衣结皮、苔藓-地衣混生结皮等三类结皮类型. 每种结皮随机设立样地 3 块,每块样地的面积为 25 m^2(5m × 5m). 调查记录其坡度、坡位、植被组成及覆盖度、结皮颜色、盖度、厚度等,并分别在每块样地上设立无结皮裸地对照. 样地基本概况见表 1.

表 1 样地概况

Table 1 General characteristics of experimental plots

结皮类型	海拔/m	坡度/(°)	坡位	结皮盖度/%	结皮厚度/mm	植被盖度/%	植被物种
苔藓结皮	1 972	8	下坡	90	7 ~ 9.5	40	茵陈蒿
	2 019	5	中坡	75	6 ~ 10	45	赖草、茵陈蒿
	2 034	11	上坡	80	7 ~ 10	55	赖草、铁杆蒿
地衣结皮	1 972	8	下坡	85	4 ~ 7	35	硬质早熟禾、长芒草
	2 019	5	中坡	50	5 ~ 7.5	30	长芒草、赖草
	2 034	11	上坡	60	4 ~ 8	25	柠条、赖草
混生结皮	1 972	8	下坡	75	6 ~ 8.5	20	长芒草、阿尔泰狗娃花
	2 019	5	中坡	70	5 ~ 7	15	茭蒿
	2 034	11	上坡	65	5 ~ 8	35	长芒草、冷蒿
无结皮	1 972	8	下坡	0	0	—	
	2 019	5	中坡	0	0	—	无
	2 034	11	上坡	0	0	—	

2.2 样品采集与测定

(1)样品采集

为使样本具有代表性,在样地内选取 3 个点以“S”型布设,利用铁铲和环刀等基本工具采集相应的土壤结皮样本. 每个实验点重复 5 次.

(2)土壤结皮物理指标测定

由于生物土壤结皮表面凹凸不平,常规的环刀法取样难以真实反映表层容重,因此用涂膜法测定[13]; 毛管孔隙、毛管持水量、最大持水量采用“环刀法”来测定.

(3)土壤结皮截雨量测定

采用滴定管模拟降雨法测定. 将原状生物结皮样品水平地放在 5 mm 粒径的土壤筛上,使水逐滴从酸式滴定管滴到结皮样品的上表面,流速控制为 10 滴·min^{-1}. 以第一滴水落在结皮样品表层时开始计时,直到第一滴水渗出时计时结束,记录所用的时间和消耗的水量.

(4)土壤结皮入渗率测定

采用双环法进行测定[14]. 双环内环直径 15 cm,高 40 cm,打入土中 25 cm; 外环直径 30 cm,环高及打入深度与内环相同. 内外环之间维持水层深度为 10 cm,加水用人工控制. 采秒表计时,每隔 2 min 记录一次加入的水量,重复 5 次实验.

3 结果与分析

3.1 土壤结皮对土壤容重、持水力和孔隙度的影响

土壤容重是土壤基本属性,其大小能反映土壤的质地、结构和有机质含量等综合物理状况[15]. 由表 2 知,不同类型土壤结皮容重差异显著,土壤容重随结皮发育程度增加呈降低趋势,表现为:苔藓结皮 < 混合结皮 < 地衣结皮 < 无结皮. 最大、最小持水量和毛管持水量则表现为随结皮发育程度呈增加趋势,变化趋势与容重相反. 相关研究指出,这是因为土壤结皮可以积累土壤中的有机碳并且固定大气氮素,从而在土壤表层形成有机质层,并增加腐殖质含量[16,17],进而导致土壤容重降低和持水力增加. 因

表 2　不同土壤结皮的物理性状及持水能力

Table 2　Effects of biological soil crusts on soil physical features and water storage capacity

结皮类型	容重 /g·cm^{-3}	最大持水量 /%	毛管持水量 /%	最小持水量 /%	总孔隙度 /%	毛管孔隙度 /%	非毛管孔隙度 /%
苔藓结皮	1.21 ±0.03	59.56 ±0.14	47.22 ±0.07	34.93 ±0.11	68.25 ±0.18	53.40 ±0.08	14.85 ±0.09
地衣结皮	1.43 ±0.02	38.07 ±0.08	30.64 ±0.11	21.55 ±0.09	53.34 ±0.15	43.07 ±0.10	9.27 ±0.06
混生结皮	1.30 ±0.05	42.53 ±0.10	36.72 ±0.13	25.72 ±0.07	59.78 ±0.19	46.71 ±0.05	13.07 ±0.07
无结皮	1.45 ±0.07	31.15 ±0.12	23.09 ±0.08	16.67 ±0.05	38.32 ±0.15	32.38 ±0.06	5.94 ±0.04

此，土壤结皮具有较好保水能力.

土壤孔隙是土壤中养分、水分、空气和微生物等迁移的通道、贮存的库和活动的场地，它的组成则直接影响土壤通气和透水性. 由表 2 可知，该流域苔藓结皮、地衣结皮、混生结皮的非毛管孔隙度百分比分别为 24.7%、17.4%、21.9%，均高于无结皮的 15.5%. 可见，土壤结皮能明显改善土壤通气性与透水性，进而增加入渗率、降低水蚀风险，其中以苔癣结皮的效果最佳，混生结皮和地衣结皮次之，无结皮时效果最差.

3.2　土壤结皮对降雨的拦截作用

为了进一步分析不同土壤结皮类型对降雨的分异特征，通过室内滴定管模拟降雨实验的方法测得不同土壤结皮的截雨量，具体结果见表 3.

表 3　不同土壤结皮对降雨的拦截能力对比

Table 3　Comparison of rainfall intercepted capacity of biological soil crusts

结皮类型	表面积/cm^2	厚度/mm	渗透时间/min	吸水量/mL	截雨量/mm
苔藓结皮	11.8	7.6	10.3	5.13	5.70
地衣结皮	14.6	6.2	6.0	3.05	3.39
混生结皮	13.1	6.9	8.9	4.36	4.84
裸地	12.5	7.2	2.6	1.46	1.62

由表 3 可知，土壤结皮对降雨的拦截作用显著高于无结皮覆盖的裸地，说明土壤结皮具有高持水力. 结皮类型不同，对降雨的拦截力也显著不同，主要表现为：苔藓结皮 > 混合结皮 > 地衣结皮，其中苔藓结皮截雨量可达到 5.70 mm，表现出较高的截雨能力，这与刘利霞[18]的研究结果相一致. 结合甘肃定西多年气象资料，<5 mm 的降水事件占全年降水次数的 55%，占全年降水的 10.6%[19,20]. 若土壤表面生长有苔藓结皮，该地区占全年降雨日数的 72.3% 的降雨量，将成为无效降雨，无法到达结皮下的土壤层. 因此，土壤结皮对降雨的拦截可以使水分分配浅层化，进而有可能提高无效降雨的影响力，这一点值得进一步深入探讨.

3.3　土壤结皮对地表渗透性能的影响

土壤水分入渗是地表水循环过程的重要环节，也是影响径流形成过程的重要参数. 黄土高原退耕以后，随着土壤结构改善、结皮持续发育和土壤有机质增加，入渗过程会发生不同程度的变化[21]. 图 1 是基于室内模拟实验和双环测定法得到的土壤结皮水分入渗过程曲线.

由图 1 可知，土壤水分入渗曲线是一双曲线形式，且入渗过程具有相似的变化趋势. 在初始阶段，土壤水分入渗很快，随着入渗时间延长，入渗速率急剧下降，然后缓慢降低并逐步达到稳渗状态. 但相对而言，有结皮覆盖的前提下，达到稳定入渗所需要的时间相对提前，其入渗总量也显著高于无结皮覆盖的裸地. 这一结果也可以从表 4 中看到.

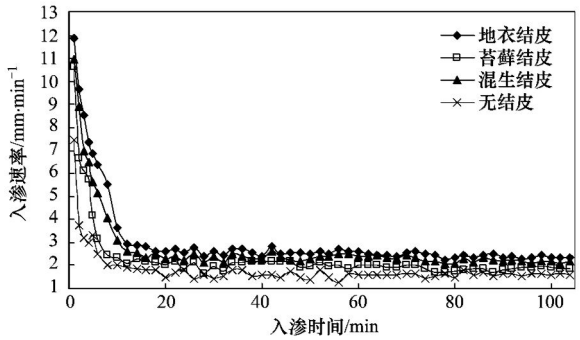

图 1　不同土壤结皮类型入渗过程分析

Fig. 1　Infiltration processes for different soil crust types

由表 4 可知，不同土壤结皮类型下土壤的入渗特征差异较大，尽管前期含水量为苔藓结皮和混生结皮最大，但其初始入渗速率、稳定入渗速率仍旧表现为苔藓结皮 > 混生结皮 > 地衣结皮 > 无结皮裸地，且苔藓结皮的入渗速率约是无结皮的 2 倍；从达到稳渗状态时间来看，苔藓结皮最早为 34 min，其次是混生结皮和地衣结皮，分别为 41 min 和 46 min，无结皮覆盖的地表最晚；从达到稳渗时的累积入渗量来看，苔藓结皮和混生结皮的土壤达到稳定时累计入渗量分别为 116.20 mm 和 98.97 mm，明显

高于无结皮的 82.17 mm. 综合可知,土壤生物结皮通过有效截流降雨、减少径流损失,从而达到促进土壤水分入渗率的效果. 这一结果与国内外的相关研究基本一致[22~24].

表 4 不同土壤结皮的水分入渗特征

Table 4 Soil infiltration features for different soil crust types

结皮类型	表层土壤前期含水量/%	初始入渗速率 /mm·min^{-1}	稳定入渗速率 /mm·min^{-1}	稳定入渗时间 /min	达到稳定时累计入渗量 /mm
苔藓结皮	4.56	11.35	1.02	34	116.20
地衣结皮	3.12	10.15	0.78	46	78.04
混生结皮	3.86	10.41	0.94	41	98.97
无结皮	3.15	6.96	0.57	57	82.17

4 结论

(1) 不同结皮类型的土壤容重依次为:苔藓结皮 < 混生结皮 < 地衣结皮 < 无结皮裸地. 土壤持水量通气性和拦截降雨的能力则表现为苔藓结皮 > 混生结皮 > 地衣结皮 > 无结皮裸地. 表明土壤结皮能有效拦截降雨、并显著改善土壤持水力和通气性.

(2) 不同结皮覆盖下的土壤入渗性能也表现出较大差异,初渗和稳渗速率均以苔藓结皮最大,混生结皮和地衣结皮次之,无结皮裸地最低. 与无结皮土壤相比,地衣结皮和苔藓结皮对水分入渗具有一定的促进作用.

参考文献:

[1] Belnap J, Lange O L. Biological soil crusts: structure, function, and management[M]. Berlin: Springer, 2003. 281-302.

[2] Byers J E. Using ecosystem engineers to restore ecological systems[J]. Trends in Ecology and Evolution, 2006, **21**(9): 493-500.

[3] Chen L D, Wei W, Fu B J, *et al*. Soil and water conservation on the loess plateau in China: review and perspective[J]. Progress in Physical Geography, 2007, **31**(4): 389-403.

[4] 卫伟, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 半干旱黄土丘陵沟壑区降雨特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J]. 生态学报, 2006, **26**(11): 3817-3853.

[5] 赵允格, 许明详, 王全九, 等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮对土壤理化性状的影响[J]. 自然资源学报, 2006, **21**(3): 441-447.

[6] 李莉, 孟杰, 杨建振, 等. 不同植被下生物结皮的水分入渗与水土保持效应[J]. 水土保持学报, 2010, **24**(5): 105-109.

[7] Kidron G J, Monger H C, Vonshak A, *et al*. Contrasting effects of microbiotic crusts on runoff in desert surfaces [J]. Geomorphology, 2012, **139**: 484-494.

[8] Greene R S B, Chartres C J, Hodgkinson K C. The effects of fire on the soil in degraded semiarid woodland. I. Cryptogam cover and physical and micro-morphological properties[J]. Australian Journal of Soil Research, 1990, **28**(5): 755-777.

[9] Heras M, Merino-Martín L, Nicolau J M. Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate[J]. Catena, 2009, **77**(1): 39-47.

[10] Xiao B, Wang Q H, Zhao Y G, *et al*. Artificial culture of biological soil crusts and its effects on overland flow and infiltration under simulated rainfall[J]. Applied Soil Ecology, 2011, **48**(1): 11-17.

[11] Bowker M A, Maestre F T, Escolar C. Biological crusts as a model system for examining the biodiversity-ecosystem function relationship in soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, **42**(3): 405-417.

[12] Eldridge D J, Greene R S B. Microbiotic soil crusts: a view of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia[J]. Australian Journal of Soil Research, 1994, **32**(3): 389-415.

[13] 范文波, 李小娟. 涂膜法测定黄土结皮容重[J]. 山西水土保持科技, 2001, (3): 9-10.

[14] 陈一兵, Troubows K. 紫色土渗透性的对比研究[J]. 水土保持通报, 1997, **17**(2): 11-13.

[15] 田大伦, 陈书军. 樟树人工林土壤水文-物理性质特征分析[J]. 中南林学院学报, 2005, **25**(2): 1-6.

[16] 李新荣, 贾玉奎, 龙利群, 等. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展[J]. 中国沙漠, 2001, **21**(1): 4-11.

[17] Belnap J, Gillete D A. Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: the influences of crust development, soil texture, and disturbance [J]. Journal of Arid Environment, 1998, **39**(2): 133-142.

[18] 刘利霞. 宁夏盐池沙地土壤结皮的理化性质及其局部环境影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.

[19] 黄志霖. 不同土地利用类型的土壤水与水土保持效应研究[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2004.

[20] Wei W, Chen L D, Fu B J, *et al*. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semiarid loess hilly area[J]. Journal of Hydrology, 2007, **335**(3-4): 247-258.

[21] 陈瑶, 张科利, 罗利芳, 等. 黄土坡耕地弃耕后土壤入渗变化规律及影响因素[J]. 泥沙研究, 2005, (5): 45-60.

[22] 郭铁瑞, 赵哈林, 左小安, 等. 科尔沁沙地沙丘恢复过程中典型灌丛下结皮发育特征及表层土壤特性[J]. 环境科学, 2008, **29**(4): 1027-1034.

[23] 王翠萍, 廖超英, 孙长忠, 等. 黄土地表生物结皮对土壤贮水性能及水分入渗特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, **27**(4): 54-59.

[24] 王新平, 肖洪浪, 张景光, 等. 荒漠地区生物土壤结皮的水文物理特征分析[J]. 水科学进展, 2006, **17**(5): 592-598.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 33 No. 11

Nov. 15, 2012

CONTENTS

Characteristics of Atmospheric NO_2 in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the Yangtze River Delta Analyzed by Satellite and Ground Observations ··· WANG Ying, LI Ling-jun, LIU Yang (3685)

Variation Analysis of Background Atmospheric Pollutants in North China During the Summer of 2008 to 2011 ··· YANG Jun-yi, XIN Jin-yuan, JI Dong-sheng, *et al.* (3693)

Characteristics of Atmospheric Pollutants in Cangzhou ··· WANG Yong-hong, HU Bo, WANG Yue-si, *et al.* (3705)

Chemical Characteristics and Sources of Trace Metals in Precipitation Collected from a Typical Industrial City in Northern China ··· LI Yue-mei, PAN Yue-peng, WANG Yue-si, *et al.* (3712)

BTX Monitoring Nearby Main Road Traffic in Guangzhou ··· YE Cong-lei, XIE Pin-hua, QIN Min, *et al.* (3718)

Dynamic Road Vehicle Emission Inventory Simulation Study Based on Real Time Traffic Information ··· HUANG Cheng, LIU Juan, CHEN Chang-hong, *et al.* (3725)

Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends ··· HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, *et al.* (3733)

Spatial Variations of Biogenic Elements in Coastal Wetland Sediments of the Jiulong River Estuary ··· YU Xiao-qing, YANG Jun, LIU Le-mian, *et al.* (3739)

Spatio-Temporal Distribution of TN and TP in Water and Evaluation of Eutrophic State of Lake Nansi ··· SHU Feng-yue, LIU Yu-pei, ZHAO Ying, *et al.* (3748)

Impact on Nitrogen and Phosphorous Export of Wetlands in Tianmu Lake Watershed ··· LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Heng-peng (3753)

Nitrogen and Phosphorus Composition in Urban Runoff from the New Development Area in Beijing ··· LI Li-qing, LÜ Shu-cong, ZHU Ren-xiao, *et al.* (3760)

Distribution and Sources of Arsenic in Yangzonghai Lake, China ··· ZHANG Yu-xi, XIANG Xiao-ping, ZHANG Ying, *et al.* (3768)

Occurrence of Fecal Indicator Bacteria in Urban Surface Water: A Case Study in Southern China ··· SUN Fu, SHA Jing, LIU Yan-hua (3778)

Vertical Migration of Algal Cells in the Daning River Bay of the Three Gorges Reservoir ··· ZHANG Yong-sheng, ZHENG Bing-hui, JIANG Xia, *et al.* (3787)

Construct of Yangtze-Huai River Rural Areas Ecological Drainage System and Its Retention Effect on Pollutants ··· SHAN Bao-qing, LI Nan, TANG Wen-zhong (3797)

Water Treatment Efficiency of Constructed Wetland Plant-Bed/Ditch Systems ··· WANG Zhong-qiong, ZHANG Rong-bin, CHEN Qing-hua, *et al.* (3804)

Effect of the Subsurface Constructed Wetland Evolution into Free Surface Flow Constructed Wetland on the Removal of Organic Matter, Nitrogen, and Phosphor in Wastewater ··· WEI Ze-jun, XIE Jian-ping, HUANG Yu-ming (3812)

Treatment Characteristics of Saline Domestic Wastewater by Constructed Wetland ··· GAO Feng, YANG Zhao-hui, LI Chen, *et al.* (3820)

Degradation of β-Naphthol by Catalytic Wet Air Oxidation ··· LIU Jie, YU Chao-ying, ZHAO Pei-qing, *et al.* (3826)

Degradation of 2,4-Dichlorophenol in Aqueous Solution by ZVI/EDDS/Air System ··· SUN Qian, ZHOU Hai-yan, CAO Meng-hua, *et al.* (3833)

Study on Photocatalytic Degradation of 1,2,3-Trichlorobenzene Using the Microwaved MWNTs/TiO_2 Composite ··· SHI Zhou, ZHANG Qian, ZHANG Wei, *et al.* (3840)

Mechanism of Cr(Ⅵ) Removal from Aqueous Solution Using Biochar Promoted by Humic Acid ··· DING Wen-chuan, TIAN Xiu-mei, WANG Ding-yong, *et al.* (3847)

Research on the Treatment of Wastewater Containing PVA by Ozonation-Activated Sludge Process ··· XING Xiao-qiong, HUANG Cheng-lan, LIU Min, *et al.* (3854)

Effects of Composite Substrates on the Phosphorus Removal in Granule-based EBPR System and Its Optimization Experiment ··· XU Shao-juan, SUN Pei-de, ZHENG Xiong-liu, *et al.* (3859)

Research of Input Water Ratio's Impact on the Quality of Effluent Water from Hydrolysis Reactor ··· LIANG Kang-qiang, XIONG Ya, QI Mao-rong, *et al.* (3868)

Evolution of Leachate Quantity and Quality in the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill ··· HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin, *et al.* (3873)

National Survey of Urban Sewage Reuse in China ··· GUO Yu-jie, WANG Xue-chao, ZHOU Zhen-min (3881)

Sorption and Desorption of 17α-Ethinyl Estradiol and 4-*n*-Nonylphenol in Soil ··· JIANG Lu, WANG Ji-hua, LI Jian-zhong, *et al.* (3885)

Soil Organic Carbon Mineralization of Black Locust Forest in the Deep Soil Layer of the Hilly Region of the Loess Plateau, China ··· MA Xin-xin, XU Ming-xiang, YANG Kai (3893)

Effects of Soil Crusts on Surface Hydrology in the Semiarid Loess Hilly Area ··· WEI Wei, WEN Zhi, CHEN Li-ding, *et al.* (3901)

Environmental Factors on Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils from Dashiwei Karst Giant Doline (Tiankeng) in Guangxi, China ··· KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, JIANG Zhong-cheng, *et al.* (3905)

Investigation on Mechanism of Pyrite Oxidation in Acidic Solutions ··· WANG Nan, YI Xiao-yun, DANG Zhi, *et al.* (3916)

Monitoring of Water and Salt Transport in Silt and Sandy Soil During the Leaching Process ··· FU Teng-fei, JIA Yong-gang, GUO Lei, *et al.* (3922)

Simulation on Remediation of Benzene Contaminated Groundwater by Air Sparging ··· FAN Yan-ling, JIANG Lin, ZHANG Dan, *et al.* (3927)

Detecting the Cytotoxicities of Five Bisphenol A Analogues to the MCF-7 Human Breast Carcinoma Cell Line Through Different Endpoints ··· ZHANG Shuai-shuai, LIU Yan, LIU Shu-shen, *et al.* (3935)

Response of Copepod Community Characteristics to Environmental Factors in the Backshore Wetland of Expo Garden, Shanghai ··· CHEN Li-jing, WU Yan-fang, JING Yu-xiang, *et al.* (3941)

Isolation, Identification and Characterization of Halotolerant Petroleum-degrading Bacteria ··· WU Tao, XIE Wen-jun, YI Yan-li, *et al.* (3949)

Growth Kinetics and Phenol Degradation of Highly Efficient Phenol-degrading *Ochrobactrum* sp. CH10 ··· CHEN Xiao-hua, WEI Gang, LIU Si-yuan, *et al.* (3956)

Isolation of Aerobic Degrading Strains for TBBPA and the Properties of Biodegradation ··· QIAN Yan-yuan, LIU Li-li, YU Xiao-juan, *et al.* (3962)

Influences of Long-term Application of Organic and Inorganic Fertilizers on the Composition and Abundance of *nirS*-type Denitrifiers in Black Soil ··· YIN Chang, FAN Fen-liang, LI Zhao-jun, *et al.* (3967)

Characteristics and Influencing Factors of Trichloroethylene Adsorption in Different Soil Types ··· HE Long, QIU Zhao-fu, LÜ Shu-guang, *et al.* (3976)

Degradation of Carbendazim in Paddy Soil and the Influencing Factors ··· XIAO Wen-dan, YANG Xiao-e, LI Ting-qiang (3983)

Effects of Sulphur Compounds on the Volatile Characteristics of Heavy Metals in Fly Ash from the MSW and Sewage Sludge Co-combustion Plant During the Disposal Process with Higher Temperature ··· LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3990)

Low-temperature Thermal Treatment of Dioxin in Medical Waste Fly Ash Under Unert Atmosphere ··· JI Sha-sha, LI Xiao-dong, XU-Xu, *et al.* (3999)

Hourly Measurement on Aerosol NH_3 and Gas NO_x Emission in the Rice Field ··· GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (4006)

Implementation of an Electronic Nose for Rapid Detection of Volatile Chloralkane and Chloroalkene ··· WEN Xiao-gang, LIU Rui, CAI Qiang, *et al.* (4012)

Pilot Study on PAHs of the Atmosphere Around the Refuse Incineration Plant Based on the Technology of Passive Sampling ··· SUN Shao-ai, LI Yang, ZHOU Yi, *et al.* (4018)

Spatial Distribution and Pollution Source Identification of Agricultural Non-Point Source Pollution in Fujiang Watershed ··· DING Xiao-wen, SHEN Zhen-yao (4025)

Difference of P Content in Different Area Substrate of Constructed Wetland ··· CAO Xue-ying, CHONG Yun-xiao, YU Guang-wei, *et al.* (4033)

Selective Detection of Viable Pathogenic Bacteria in Water Using Reverse Transcription Quantitative PCR ··· LIN Yi-wen, LI Dan, WU Shu-xu, *et al.* (4040)

Formation of Disinfection By-products: Temperature Effect and Kinetic Modeling ··· ZHANG Xiao-lu, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, *et al.* (4046)

A Novel Quantitative Approach to Study Dynamic Anaerobic Process at Micro Scale ··· ZHANG Zhong-liang, WU Jing, JIANG Jian-kai, *et al.* (4052)

Leaves of *Platanus orientalis* as the Carbon Source for Denitrification ··· XIONG Jian-feng, XU Hua, YAN Ning, *et al.* (4057)

Isolation, Charcaterization of an Anthracene Degrading Bacterium *Martelella* sp. AD-3 and Cloning of Dioxygenase Gene ··· CUI Chang-zheng, FENG Tian-cai, YU Ya-qi, *et al.* (4062)

《环境科学》第 6 届编辑委员会

主　编：欧阳自远

副主编：赵景柱　郝吉明　田　刚

编　委：（按姓氏笔画排序）

万国江　王华聪　王凯军　王绪绪　田　刚　田　静　史培军

朱永官　刘志培　汤鸿霄　陈吉宁　孟　伟　周宗灿　林金明

欧阳自远　赵景柱　姜　林　郝郑平　郝吉明　聂永丰　黄　霞

黄　耀　鲍　强　潘　纲　潘　涛　魏复盛

环 境 科 学

（HUANJING KEXUE）

（月刊　1976 年 8 月创刊）

2012 年 11 月 15 日　33 卷　第 11 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 33　No. 11　Nov. 15, 2012

主　　管	中国科学院	**Superintended** by	Chinese Academy of Sciences
主　　办	中国科学院生态环境研究中心	**Sponsored** by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协　　办	（以参加先后为序） 北京市环境保护科学研究院 清 华 大 学 环 境 学 院	**Co-Sponsored** by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主　　编	欧 阳 自 远	**Editor-in -Chief**	OUYANG Zi-yuan
编　　辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱（海淀区双清路 18 号，邮政编码：100085） 电话：010-62941102，010-62849343 传真：010-62849343 E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	**Edited** by	The Editorial Board of Environmental Science（HUANJING KEXUE） P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel：010-62941102, 010-62849343；Fax：010-62849343 E-mail：hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出　　版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717	**Published** by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing　100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	**Printed** by	Beijing Bei Lin Printing House
发　　行	科 学 出 版 社 电话：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com	**Distributed** by	Science Press Tel：010-64017032 E-mail：journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	**Domestic**	All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 （北京 399 信箱）	**Foreign**	China International Book Trading Corporation（Guoji Shudian）, P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号：ISSN 0250-3301 / CN 11-1895/X　　国内邮发代号：2-821

国 内 定 价：70.00 元　　国外发行代号：M 205

国 内 外 公 开 发 行