

黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中生物土壤结皮特征

张振国^{2,3}, 焦菊英^{1,2}, 白文娟^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院
水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 以黄土丘陵沟壑区安塞县墩滩山的退耕地为研究对象, 分析了退耕地植被自然恢复过程中生物土壤结皮的特点及其对土壤水分、土壤有机质和土壤侵蚀的影响。结果表明: (1) 生物土壤结皮的盖度随着退耕年限的增长不断增大, 结皮的厚度也渐渐增加, 且稳定在 0.1~0.3 cm 之间; (2) 有结皮样地 0—40 cm 土层的土壤含水量一般比对照样地的土壤含水量要低, 有结皮样地和对照土壤含水量都随土层深度逐渐升高, 但升高幅度逐渐变小; (3) 有生物结皮的样地土壤表层 0—10 cm 有机质含量比对照样地有机质含量大; 10—20 cm 土层有生物结皮的样地比对照样地有机质含量也高, 但是差异不如 0—10 cm 土层明显; (4) 随着退耕年限的增长, 土壤侵蚀量逐渐减少, 与退耕初期相比, 退耕 10 a 以上样地土壤侵蚀量可减少 30%~80%。说明在退耕地植被恢复的过程中, 生物结皮改善了土壤表层性质, 增强了土壤抗侵蚀能力。

关键词: 退耕地; 植被恢复; 生物土壤结皮; 黄土丘陵沟壑区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)04-0033-05

中图分类号: S154, S157

Characteristics of Biological Soil Crusts During Vegetation Restoration of Abandoned Lands in Hill and Gully Region of Loess Plateau

ZHANG Zhen-guo^{2,3}, JIAO Ju-ying^{1,2}, BAI Wen-juan^{2,3}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The properties of biological soil crusts and their effects on soil water, organic matter and soil erosion on the lands abandoned during vegetation restoration in Duntan Hills, Ansai County, Shaanxi Province, which is located in the hill and gully region of the Loess Plateau, were analyzed. Results showed that: (1) after the abandonment, the coverage and thickness of biological soil crusts increased gradually with the increase of time, and the thickness varied from 0.1 to 0.3 cm; (2) the soil water content in the sample plots without biological soil crusts was higher than that in the sample plots with biological soil crusts, and the soil water content increased with the increase in soil depth within 0—40 cm of the soil surface; (3) the organic matter content within 0—10 cm of the soil surfaces in the sample plots with biological soil crusts was higher than that of the sample plots without biological soil crusts, and the relation was the same in the soil layers of 10—20 cm, but the variation was not distinct as within 0—10 cm of the soil surface; (4) after the abandonment, the amount of soil erosion decreased gradually with the increase of time, and compared with the early abandoned plots, the amount of soil erosion in the sample plots in more than 10 years decreased by 30%~80%. The results illuminate that biological soil crusts could improve the characteristics of soil surface layers on the abandoned lands during vegetation restoration, and enhance the soil ability to resist erosion.

Keywords: abandoned lands; vegetation restoration; biological soil crusts; hill and gully region on the Loess Plateau

收稿日期: 2006-01-09

资助项目: 国家自然科学基金(40571094, 40271074); 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”项目(01140301)

作者简介: 张振国(1981—), 男(汉族), 山东寿光人, 在读硕士, 研究方向为水土保持、植被恢复和环境效益评价。E-mail: dynamicpower@163.com。

通讯作者: 焦菊英(1965—), 女(汉族), 陕西省宝鸡县人, 博士, 研究员。研究方向为植被恢复与水土保持环境效益。E-mail: jiaojuying@yahoo.com.cn, jyjiao@ms.iswc.ac.cn。

生物土壤结皮是由细菌、真菌、蓝绿藻、地衣和苔藓植物与土壤形成的有机复合体。组成生物土壤结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋拓殖植物, 不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠、生存条件恶劣的环境中生长繁殖, 并且能通过其生活代谢方式影响并改变环境, 在防风固沙、防止土壤侵蚀、改变水分分布状况等方面更是扮演着重要角色。它的形成使土壤表面在物理、化学、生物学特性上明显不同于松散沙土, 具有较强的抗风蚀功能和重要的生态及地学效应, 成为干旱荒漠地区植被演替的重要基础^[1]。近 20 a 来, 国际上开展了大量生物土壤结皮的研究, 这些研究对人们进一步了解干旱地区的生态系统演化进程、功能及反馈机制有重要的科学价值和实际意义。但此类研究多是基于荒漠化地区, 而在黄土高原地区的退耕地植被恢复过程中的研究较少。为此, 本文在野外调查和数据分析的基础上, 对黄土丘陵沟壑区退耕地植被自然恢复过程中的生物土壤结皮的变化特征及其对土壤水分、土壤有机质和土壤侵蚀的影响进行了分析, 以拓展研究范围和服务于退耕还林还草工程。

1 研究区概况

研究区设在地处陕北黄土高原丘陵沟壑区的安塞县, 位于 105°51'44"–109°26'18"E, 36°22'40"–36°32'16"N, 海拔 997~1731 m。地形复杂, 梁峁连绵, 沟壑纵横, 全县水土流失面积 2832 km², 占总面积的 96%, 是黄河中游水土流失重点县之一, 也是西北典型生态环境脆弱区。安塞县属暖温带半干旱气候区, 年平均降水量 500 mm 左右, 且分布不均匀, 降雨集中。年平均蒸发量 1000 mm, 无霜期 160~180 d 左右, 年日照时数 2352~2573 h, ≥10℃积温 2866℃, 年均气温 8.9℃。土壤以黄绵土为主, 约占总面积的

95%左右^[2]。安塞处于暖温带森林草原区, 天然森林已全遭破坏, 森林覆盖率为 17.7%^[2]。

墩滩山内人工林是以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、小叶杨(*Populus simonii*)、柠条(*Caragana intermedia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*) 为主, 荒坡主要为铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、芨蒿(*Artemisia giraldii*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*) 等组成的处于不同演替阶段的草本植物群落, 多数荒坡因过度放牧而变成退化草地^[3]。退化土地退耕还林还草后, 不同年限的退耕地主要植物群落不同, 本次调查选择了具有代表性的不同退耕年限的样地作为调查对象。各样地的基本情况见表 1。

2 研究方法及结果

以野外调查观测采样与室内分析相结合的方法, 分析退耕地植被自然恢复过程中生物土壤结皮的特点及对土壤水分、土壤有机质和土壤侵蚀的影响。于 2005 年 8 月初, 在安塞县境内的墩滩山选择有代表性的样点, 进行生物结皮、土壤水分、土壤有机质和土壤侵蚀量(主要测量细沟侵蚀)的测定。

生物结皮的测定是采用直尺测量其厚度, 并调查其颜色与盖度; 土壤水分调查采用土钻法, 调查土层为 40 cm, 每隔 10 cm 取土, 水分含量测定采用烘干法; 土壤有机质采样深度为 10 cm 和 20 cm, 土壤有机质的测定采用重铬酸钾(K₂Cr₂O₇)容量法—外加热法; 土壤侵蚀量的测定是每个样点设小样方 6 个, 为便于调查, 样方大小为 50 cm × 50 cm, 测量样方中细沟的长、宽、深, 来计算其侵蚀体积。土壤水分、土壤有机质、土壤侵蚀量测定时均设无生物结皮样地作为对照。

表 1 样地基本情况

样地	退耕年限/a	坡度	坡向	植物群落
S ₁	3	22°	阳坡	茵陈蒿+ 狗尾草(<i>Artemisia scoparia</i> + <i>setaria viridis</i>)
S ₂	4	15°	阴坡	茵陈蒿+ 达乌里胡枝子(<i>Artemisia scoparia</i> + <i>Lespedeza dahurica</i>)
S ₃	6	26°	阳坡	茵陈蒿+ 达乌里胡枝子(<i>Artemisia scoparia</i> + <i>Lespedeza dahurica</i>)
S ₄	8	20°	阴坡	中华隐子草+ 铁杆蒿(<i>Lespedeza dahurica</i> + <i>Artemisia gmelinii</i>)
S ₅	12	28°	阳坡	铁杆蒿+ 达乌里胡枝子(<i>Artemisia gmelinii</i> + <i>Lespedeza dahurica</i>)
S ₆	12	14°	阴坡	铁杆蒿(<i>Artemisia gmelinii</i>)
S ₇	17	35°	阳坡	达乌里胡枝子+ 茵陈蒿(<i>Lespedeza dahurica</i> + <i>Artemisia scoparia</i>)
S ₈	18	12°	阴坡	铁杆蒿+ 达乌里胡枝子(<i>Artemisia gmelinii</i> + <i>Lespedeza dahurica</i>)
S ₉	25	30°	阳坡	达乌里胡枝子+ 长芒草(<i>Lespedeza dahurica</i> + <i>Stipa bungeana</i>)
S ₁₀	25	12°	阴坡	达乌里胡枝子+ 茵陈蒿(<i>Lespedeza dahurica</i> + <i>Artemisia scoparia</i>)
S ₁₁	30	30°	阳坡	白羊草(<i>Bothriochloa ischaemum</i>)
S ₁₂	30	33°	阴坡	铁杆蒿+ 赖草(<i>Artemisia gmelinii</i> + <i>Leymus scalinus</i>)

2.1 土壤生物结皮的盖度与厚度变化特征

此次调查样地的生物结皮种类是藓类与藻类,结皮颜色为土黄色、褐绿色。在退耕地植被恢复过程中,由于退耕年限的不同,土壤生物结皮盖度也不一样。由表1和表2可以看出随着退耕年限的不断增加,土壤生物结皮盖度也逐渐增大。退耕年限为3a的样地基本没有生物结皮的形成,退耕年限为12a的样地生物结皮盖度可达到40%以上,退耕年限为25~30a的样地生物结皮盖度可达到60%。土壤生

物结皮厚度也随着退耕年限的增长呈增加趋势,退耕地生物结皮厚度一般在0.1~0.3cm之间。这是由于随着退耕年限的增长和植物盖度的增加,有利于微生物的大量繁衍和活动,它们积极参与了生物结皮的形成;同时植被增加使得土壤表层细粒物质得以保留,为地表结皮的发育提供了物质基础,加之雨滴及枯枝落叶物分解的黏性物质作用,退耕地表面结皮层开始形成,退耕年限越长的样地,其表层结皮越厚,盖度也越大,分布也越完整^[4]。

表2 样地生物结皮的盖度与厚度

样地	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂
生物结皮盖度/%	5	10	45	35	50	40	45	55	55	45	60	60
生物结皮厚度/cm	0.10	0.10	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.25	0.25	0.30	0.30	0.30

注:结皮厚度是指地上部分高度,不包括地下部分。

2.2 土壤生物结皮对土壤含水量的影响

由表3可以看出:(1)有生物结皮样地0—40cm土层各层次含水量阴坡比阳坡要高,高出幅度在3%~220%之间,无生物结皮样地各层次则无这种规律;无结皮各层次含水量一般比有结皮各层次含水量要高,高出幅度为1%~190%,但退耕年限长的样地10,11,12,除0—10cm层次有结皮含水量高于对照外,其它层次均低于对照。(2)有结皮样地和对照各层次含水量都随深度逐渐升高,但升高幅度逐渐变小,20—30cm层次和30—40cm层次含水量差别不大。土壤上层水分入渗与土壤结构、有机质含量、土壤粗糙度等特征有关,而生物结皮能改变这些特

征^[5]。生物结皮粘结土壤表面细粒,甚至关闭许多表土的导水孔隙,这一作用得到了电镜扫描的证实^[6],因此在降雨过程中,生物结皮可能减少雨水的入渗。

生物结皮对降雨入渗的影响至今存在着争议,许多研究认为生物结皮不易被水沾湿,有利于土壤表面水分的入渗,从而有结皮区比无结皮区降水入渗明显增加^[7];而另一些研究则证明结皮有机体具有亲水性,生物结皮的存在使土壤的入渗明显减少^[8-10]。争论的原因是对生物结皮影响入渗的解释还不够清楚,反映在土壤含水量上的差异可能是不同结皮成分和结皮特点造成的,还需进一步的探讨。

表3 样地的土壤含水量

土层	样地类型	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	%
0—10cm	结皮	1.43	2.61	1.24	4.02	1.68	3.75	2.12	3.08	1.55	3.02	2.99	3.16	
	对照	3.52	3.31	2.91	4.83	1.94	5.20	3.46	5.12	3.06	5.28	4.28	3.19	
10—20cm	结皮	4.97	4.41	2.31	5.09	5.16	7.30	4.46	5.63	3.59	6.32	4.86	7.83	
	对照	5.67	4.08	6.65	6.46	8.38	8.42	7.53	7.57	5.80	4.03	2.80	4.73	
20—30cm	结皮	8.38	8.64	3.32	9.02	5.42	11.80	4.30	10.60	6.55	10.00	8.52	7.89	
	对照	9.31	7.89	8.53	7.34	9.93	9.83	8.61	6.62	6.70	6.89	6.95	8.33	
30—40cm	结皮	9.69	9.77	5.15	9.81	5.51	10.40	4.80	9.83	9.38	9.21	10.40	7.75	
	对照	14.70	10.30	7.73	8.18	10.20	9.65	9.57	8.20	11.30	8.97	7.04	8.69	

注:对照是指所选样地无生物结皮形成。

2.3 土壤生物结皮对土壤有机质含量的影响

由表4可见:(1)有生物结皮样地和对照样地土壤表层0—10cm有机质含量均高于10—20cm层次,这与表层土壤有机质高这一规律相符。(2)有生物结皮的样方土壤表层0—10cm有机质含量比对照有机质含量高,高出幅度1.5%~60%,最大差异达6.31g/kg,而样地1,4,9差异不明显;10—20cm土

层有生物结皮的样方比对照样方有机质含量也高,但差异不如0—10cm土层明显,最大差异仅为1.25g/kg,变化范围为0.01%~27%。

生物结皮能够高效地利用有限的降水资源,使结皮中的微生物恢复生物活性,它能有效地积累有机碳并且固定大气中的氮素^[11],在表面形成有机质层,增加了土壤的腐殖质^[12];同时随着生物结皮中的微生

物适应性向较深层生长,分泌大量胞外聚合物,过量的聚合物在结皮表面形成了有机质层^[13],使得土壤表层的有机质含量增加。样地 1, 4, 9 差异不明显,可能是由于土壤表面植被盖度、生物结皮盖度小,土壤表层侵蚀严重,导致土壤表层中的养分、有机质含量减少,从而导致与对照差异不大;生物结皮影响层次不深,而使得 10—20 cm 土层的有机质含量两者差异也不大。

2.4 土壤生物结皮对土壤侵蚀的影响

由表 5 可以看出,随着退耕年限的增长,结皮盖度的增加,各调查样方的细沟侵蚀量是逐步变小的。退耕年限为 3 a 的样地细沟侵蚀量为 $632 \text{ cm}^3/\text{m}^2$,而退耕年限为 30 a 的样地细沟侵蚀量仅为 $138 \text{ cm}^3/\text{m}^2$,两者相差 $494 \text{ cm}^3/\text{m}^2$,侵蚀体积量减少了 80%。退耕 10 a 以上的样地侵蚀量减少了 30%~80%,变化比较明显。这是由于结皮中的土壤微生物能够增

强土壤团聚的稳定性。Green 等提供的微形态学证据证明,土壤微生物把非结晶黏胶状的有机物密切的黏结在一起,而有机物又将矿物细粒进一步黏结,形成球状表面团聚体^[14]。构成生物结皮基础的具有黏性附属物的菌体和黏性质液,加上放线菌和霉菌的菌丝使得细小沙粒和微生物及其分泌物紧密结合在一起,构成复杂有韧性的结合体,使土壤表层形成壳状结皮。这样既借助菌丝体将土壤细粒紧密黏结,又可通过微生物分泌物黏结,促使土表稳定性的增强而避免了水蚀^[15]。

Roger 的工作也证明了菌丝体的生长特性和所分泌的黏液及胶质鞘能够粘固土表,防止土壤侵蚀^[16]。此外,微生物细胞作为一种带负电性的胶体物质也可以借助静电引力促使土壤颗粒彼此连接在一起^[17]。由此可见,土壤生物结皮的形成,可以提高土壤的抗侵蚀能力。

表 4 样地的有机质含量

土层	样地类型	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	g/kg
0—10 cm	结皮	6.52	6.59	8.03	7.64	6.43	6.32	17.00	9.26	7.70	7.93	10.70	15.80	
	对照	6.39	5.67	5.26	7.51	5.79	4.34	10.70	5.71	7.65	6.26	9.02	9.73	
10—20 cm	结皮	4.73	5.31	5.83	5.13	5.83	6.08	8.84	6.13	6.07	5.00	8.56	4.50	
	对照	4.73	5.26	4.53	4.44	4.58	5.89	8.78	5.05	5.48	6.04	10.70	7.16	

注:对照是指所选样地无生物结皮形成。

表 5 样地的土壤侵蚀量

样地	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂
细沟长度/ $(\text{cm} \cdot \text{m}^{-2})$	285	257	241	234	213	211	200	172	153	141	106	82
侵蚀体积/ $(\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-2})$	632	575	453	492	441	423	414	347	252	230	165	138

3 结 论

(1) 随着退耕年限的增长,生物土壤结皮盖度不断增大,可达到 60%;结皮厚度也是渐渐增加的,但不变化不十分明显,厚度一般在 0.1~0.3 cm 之间。

(2) 有结皮样地 0—40 cm 土层各层次含水量阴坡比阳坡要高,对对照样地则无此规律;有结皮各层次含水量一般比对照各层次含水量要低;有结皮样地和对照各层次含水量都随深度逐渐升高,但升高幅度逐渐变小。

(3) 有生物结皮的样地土壤表层 0—10 cm 有机质含量比对照样地有机质含量大,高出幅度为 1.5%~60%;10—20 cm 土层有生物结皮的样方比对照样方有机质含量也高,但差异不如 0—10 cm 土层明显,变化范围为 0.01%~27%。

(4) 随着退耕年限的增长,生物土壤结皮盖度的

增加,土壤侵蚀量逐渐减少,与退耕初期相比,退耕 10 a 以上样地的土壤侵蚀量可减少 30%~80%。

本文研究只是一个初步的结果,还应加强生物土壤结皮对环境的生态功能,如营养物质的循环与贮存、水分循环、种子萌发等影响的研究,探讨生物土壤结皮在干旱半干旱地区退耕地及退化系统中的植被恢复与重建中生态意义,为我国西部地区退耕还林(草)、水土保持与生态环境建设提供科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] Loria M, Herrnsstand I. Moss capsules as food for the harvest ant[J]. The Bryologist, 1980, 83: 524—525.
- [2] 高旺盛,董孝斌.黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价——以安塞县为例[J]. 2003, 18(2): 182—188.
- [3] 李代琼,姜峻,梁一民,等.安塞黄土丘陵区人工草地水分有效利用研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 66—74.

- [4] 杜晓辉. 沙地地表结皮的研究[J]. 中国沙漠, 1990, 10(4): 31—37.
- [5] Belnap J, Gardner J S. Soil microstructure of the Colorado plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus Vaginatatus*[J]. Great Basin Nat, 1993, 53(1): 40—47.
- [6] Jungerius P D, Meulen F. Erosion progresses in a dune landscape along the Dutch coast[J]. Catena, 1988, 15(2): 217—228.
- [7] Kidron G J, et al. Two different causes for runoff initiation on microbiotic crusts: hydrophobicity and pore clogging[J]. Soil Sci., 1999, 164(1): 18—27.
- [8] Lange O L, et al. Photosynthesis and water relations of lichen soil crusts: Field measurements in the coastal fog zone of the Namib Desert[J]. Funct. Ecol, 1994, 8(2): 253—264.
- [9] Eldridge D J. Cryptogam cover and soil surface condition: effects on hydrology on a semiarid woodlands soil[J]. Arid Soil Res. Reh, 1993, 7(1): 203—217.
- [10] Eldridge D J. Cryptogam, vascular plants and soil hydrological relations: some preliminary results from the semiarid woodlands of eastern Australia[J]. Great Basin Nat, 1993, 53(1): 48—58.
- [11] 李新荣, 贾玉奎, 龙利群. 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—12.
- [12] 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: 133—142.
- [13] 吴楠, 潘伯荣, 张元明. 土壤微生物在生物结皮形成中的作用及生态学意义[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 44—450.
- [14] Green R S B, Charires C J. The effect of fire on the soil of the degraded semiarid woodland. I. Cryptogam cover and physical microphological properties[J]. Australian J. Soil Res, 1990. 755—777.
- [15] 李新荣, 张景光, 王新平, 等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究[J]. 植物学保, 2004, 42(9): 965—970.
- [16] 贾宝全, 张红旗, 张志强. 甘肃省民勤沙区土壤结皮理化性质研究[J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1443—1448.
- [17] 邵玉琴, 赵吉. 库布齐固定沙丘土壤微生物数量与土壤生态因子的研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1997, 28(5): 715—719.

(上接第32页)

- [12] 金争平, 史培军, 侯福昌, 等. 黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式[M]. 北京: 海洋出版社, 1992. 1—33.
- [13] 金争平, 苗宗义, 王正文, 等. 水土保持与土地资源和环境——以黄土高原准格尔试验区为例[J]. 水土保持学报, 1999, 5(2): 1—6.
- [14] 杨劼, 高清竹, 李国强, 等. 内蒙古皇甫川流域植被空间动态变化分析[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 41—43.
- [15] 吴波, 慈龙俊. 毛乌素沙地景观格局变化研究[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 191—196.
- [16] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量化研究方法[J]. 山地学报, 2000, 18(4): 346—352.
- [17] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛景观空间结构分析[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 20—27.
- [18] 徐建华, 方创琳, 岳文泽. 基于RS与GIS的区域景观镶嵌结构研究[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 365—375.
- [19] Loehle C, Li B L. Statistical properties of ecological and geologic fractals[J]. Ecological Modeling, 1996, 85: 271—284.
- [20] Li B L. Fractal geometry applications in description and analysis of patch patterns and patch dynamics[J]. Ecological Modeling, 2000, 132: 33—50.
- [21] 徐建华, 艾南山, 金炯, 等. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究——以黑河流域为例[J]. 干旱区研究, 2000, 18(1): 36—39.
- [22] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature[M]. New York: W H Freeman, 1982. 244—320.
- [23] 董连科. 分形理论及其应用[M]. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1991. 5—30.
- [24] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 1—6.

刊 误

本刊2006年第3期第132页“关于小流域可持续发展几个问题的思考”一文作者工作单位均应为东北林业大学森林资源与环境学院, 特此更正, 并向作者、读者朋友致歉。

《水土保持通报》编辑部