

黄土丘陵区生物结皮对土壤抗蚀性的影响

李聪会¹, 朱首军¹, 陈云明², 于萌³, 马笑¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学

水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 新疆绿疆源生态工程有限责任公司, 乌鲁木齐 830000)

摘 要:以黄土丘陵区不同发育年限的生物结皮为研究对象,通过对保留生物结皮、去除生物结皮两种处理下土壤的崩解性、抗剪强度的比较,分析生物结皮对土壤抗蚀性的影响。结果表明:(1)生物结皮可以增强土壤抗崩解性能,随着发育年限的增加,崩解量减少,减少量从 21.85%至 43.46%递增。(2)生物结皮可以提高土壤抗剪强度,提高率为 17.91%~23.45%,并与发育年限成正相关关系。(3)土壤崩解量与抗剪强度呈线性负相关,生物结皮对土粒间相互作用力的增强可以降低水分对土粒的分散作用,崩解量随抗剪强度的变化率较小。

关键词:生物结皮;土壤抗蚀性;土壤崩解;抗剪强度

中图分类号:S154; S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)03-0006-05

Effects of Biological Crusts on Soil Anti-erodibility in Loess Hilly Areas

LI Cong-hui¹, ZHU Shou-jun¹, CHEN Yun-ming², YU Meng³, MA Xiao¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Xinjiang Lvjiangyuan Ecological Engineering Co., Ltd., Urumqi 830000, China)

Abstract: In order to study the effects of biological crusts forming in different development periods in loess hilly areas on soil anti-erodibility, the differences of soil disintegration and soil anti-shear strength under two different treatments, retention of biological crust and removal of biological crust were analyzed. The results were as followings: (1) the formation of biological crusts can reduce the soil disintegration quantity, with the development of biological crusts, the influence degree improved from 21.85% to 43.46%; (2) the formation of biological crusts can improve the anti-shear strength of soil at the rate of 17.91%~23.45%, and the development of biological crusts has the positive correlation with soil anti-shear strength; (3) soil disintegration quantity had the negative linear correlation with soil anti-shear strength. As the biological crust can enhance the soil particle interaction, the effect of moisture on soil particle dispersion was reduced, which made the rate of change of soil disintegration to anti-shear strength reduced.

Key words: biological crust; soil anti-erodibility; soil disintegration; anti-shear strength

土壤抗蚀性受多种因素影响,目前,国内外已对影响土壤抗蚀性的降雨等外营力、土壤性质、生物等因素及其之间相互关系进行了大量研究。生物因素方面,不但涵盖了乔木、灌木、草本等各植物种,而且从植物地上茎叶、地下根系等多角度进行了大量研究。但是,大部分研究对象仅限于高等植物,有关苔藓、藻类等低等植物对土壤抗蚀性的影响很少见,而由低等植物发育形成的生物结皮是众多影响土壤物理结构的因素中非常重要的一种^[1]。

生物土壤结皮(或称土壤微生物结皮),是指由生

长在土壤表面及其以下的藻类、藓类、地衣类等个体微小的生物成分与土壤相互作用形成的复杂复合土层^[2]。由于其结构的特殊性及微生物在群落演替中的先锋地位,生物结皮对退耕地水土流失防治以及植被恢复有着不可替代的作用。黄土丘陵区是我国水土流失重点防治区,近年来,随着退耕还林(草)工程的全面展开,黄土丘陵区也进入人为扰动减少、土壤与植被恢复演替的阶段,生物结皮快速发育,其在水土流失防治中的作用也越来越受到重视。

近年来诸学者对生物结皮的研究取得了一定成

果。研究表明,生物结皮可以影响土壤物理、化学性质,从而起到降低土壤饱和导水、入渗能力^[3],改变土壤容重、土壤含水量等作用^[4];微生物菌丝、根系等之间的缠绕、包裹作用可以稳定土体结构^[5-6]。生物结皮中菌丝体、藻丝体、苔藓假根等生物体的发育影响土壤中碳、氮等养分的积累与分布,增加土壤有机质含量,改善土壤团聚性、增加地表粘结力^[7-10]。生物结皮本身的特性及其对土壤结构的影响,可以明显提高土壤表面抗冲性,减少侵蚀的发生^[11-14]。目前,关于生物结皮能提高土壤表面稳定性在学术界已形成共识,然而有关生物结皮对土壤抗蚀性的研究还鲜有报道,生物结皮对土壤抗剪强度的影响研究也未能将生物结皮与结皮下土壤的抗剪强度结合起来。

本研究在野外调查的基础上,结合室内测定分析,将土壤崩解性、抗剪强度作为土壤抗蚀性的两个指标,通过对比分析保留生物结皮与去除生物结皮后 0—5 cm 土层土壤的抗蚀性,探索生物结皮对土壤抗蚀性的影响,为揭示生物结皮的抗蚀机理提供借鉴。

1 研究内容与方法

1.1 研究区概况

本实验主要在中国科学院安塞水土保持综合试

验站进行。试验站位于陕西省延安市安塞县,属于典型的黄土丘陵沟壑区,沟壑纵横、梁峁连绵、地形复杂,属黄河中游水土流失严重区,也是西北地区典型的生态环境脆弱区。该区属暖温带半湿润向半干旱过渡区,春季干旱多风,夏季炎热多雨,冬季干燥寒冷,年均气温 8.8℃,平均降雨量 540 mm,主要集中在 7—9 月,多暴雨。处于黄绵土与沙黄土交错区,地带性土壤为黑垆土,流失严重,黄土母质广泛裸露地表,土壤类型主要为黄绵土。属于暖温带落叶阔叶林向干草原过渡的森林草原区,天然森林已遭破坏,森林覆盖率为 17.7%。现有的天然次生植被主要为以白羊草(*Bothriochloa ischaemum* L. Keng)、长芒草(*Stipa bungeana* Trin.)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum* Ledeb.)、芨蒿(*Artemisia giraldii* Pamp.)等为主的草本群落和零星分布的杂灌丛,林草下生物结皮广泛发育。

1.2 样地选择与样品采集

1.2.1 样地选择 通过野外实地调查结合目估法,在试验区确定 4 个发育阶段的结皮样地,并设置 1 个耕地样地作为对照。取样时选择人为扰动少、结皮相对完整的地块,去除表面杂物后采集样品,样地概况详见表 1。

表 1 样地概况

样地号	结皮生长年限/a	主要生物结皮种类	坡向	主要植被	植被盖度/%	结皮盖度/%
1	0	无	阳坡	大豆(<i>Glycine max</i>)	80~90	0
2	3	少量藻	半阳坡	红豆草(<i>Onobrychis viciaefolia</i> Scop), 狗尾草(<i>Setaira viridis</i> L. Beauv)	75~85	40
3	10	藻、少量藓	阳坡	柳枝稷(<i>Panicum virgatum</i>)	70~80	70
4	17	藻、藓	阳坡	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.), 沙棘(<i>Hippophae rhamnoides</i> Linn.)	70~75	70
5	23	藓、少量藻	半阳坡	侧柏(<i>Platycladus orientalis</i> Linn. Franco), 狗尾草	70~75	80

注:结皮生长年限为 0 样地为耕地,为对照样地,其他为生物结皮样地。

1.2.2 样品采集与处理 土壤抗蚀性试验采用 5 cm×5 cm×5 cm 特制矩形环刀进行采样,设置保留结皮、去除结皮两种处理,每种处理重复取样 3 次。去除结皮时,用小铲子小心、均匀地去除生物结皮,铲子尽量保持与原地面平行状态进行移除操作,以减少对结皮层下土壤的扰动。由于不同样地结皮厚度不同,去除厚度以完全移除结皮层为标准。取样时用特制环刀柄将环刀垂直均匀压入,尽量保证结皮及结皮下土体的完整性,然后将样品连同取样器用保鲜膜包好后带回室内。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤崩解性 土壤抗蚀性主要指土壤抵抗水

的分散和悬浮的能力,静水崩解性是评价土壤抗蚀性的重要指标^[15]。目前市面上没有成型的土壤崩解测定仪器,本研究在借鉴蒋定生^[16]使用的崩解测定仪器的基础上结合预实验结果,简化了测定方法。测定时用 HP-20 型推拉力计进行记录,用样品在静水中崩解总重量定量描述土壤抗蚀性,通过保留生物结皮与去除结皮两种处理下土壤崩解量的对比,分析生物结皮对土壤抗蚀性的影响程度。具体方法:将样品放置在特制的 5 cm×5 cm 金属网架上(网眼大小为 5 mm×5 mm),悬挂在推拉力计下,样品浸入水中后开始测定并计时,每个样品连续测定 30 min。崩解总量为 30 min 样品崩解掉的土粒总量,用 W 表示。根据研

究内容与目的,本研究中以 N 表示保留生物结皮下土壤崩解性变化率。

$$W = w_{30} - w_0$$

式中: w_0, w_{30} ——测定开始、结束时刻拉力计读数。

$$N = (\pm) \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

式中: W_0, W_1 ——去除生物结皮、保留生物结皮 30 min 土壤崩解量。

1.3.2 土壤抗剪强度 土壤抗剪强度从力学角度反映了土壤抗蚀性能,是反映土壤抵抗径流冲刷剪切能力的重要指标之一^[17-18]。本研究中土壤抗剪强度通过十字板剪切法测定^[19],测定仪器为荷兰进口 H-60 型原位十字剪切仪。降雨后样地土壤含水量较高,结合人工喷水,使样点达到饱和含水量后进行测定,以消除含水量对土壤抗剪性的影响。测定时首先对样地进行保留结皮、去除结皮两种处理,选用 5 cm 刀头,对样地 0—5 cm 土层抗剪强度进行测定,一个样地测定 10 次重复,去除极值后计算平均值。抗剪强度用 τ 表示,保留生物结皮下土壤抗剪强度变化率用 N_j 表示。

$$\tau = \tau_i \times 0.5$$

式中: τ_i ——剪力仪度数;0.5——校正系数。

$$N_j = (\pm) \frac{\tau_1 - \tau_0}{\tau_0} \times 100\%$$

式中: τ_0, τ_1 ——去除生物结皮、保留生物结皮的土壤抗剪强度。

2 结果与分析

2.1 生物结皮对土壤崩解性能的影响

土壤崩解量是衡量土壤抗蚀性的重要指标,是指土壤在静水中发生碎裂解体塌落或强度减弱的现象^[20]。图 1 是不同生物结皮在保留结皮、去除结皮两种处理下的累积崩解量。

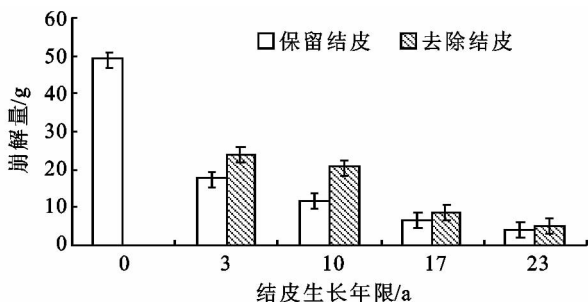


图 1 不同生物结皮土壤 30 min 累计崩解量

由图 1 可以看出,对照坡耕地(0 a)没有生物结皮,崩解量明显高于有结皮发育的样地(3, 10, 17, 23 a);而在有结皮发育的样地中,去除生物结皮后土壤的崩解量明显大于保留结皮土壤。这证明生物结皮

对土壤崩解性产生了一定的影响,增强了土壤抵抗水分分解的能力。这是因为生物结皮本身是一层复杂的复合土层,该土层中存在大量的微生物菌丝、根系等物质,一方面,这些物质本身不易被水分解,因此使崩解量减少。另一方面,这些物质的缠绕、穿插作用以及分泌物对土粒的粘结作用^[21],使该复合层中土粒间的相互作用增强,增加了该层土体稳定性,而土粒间的胶结作用是限制土壤崩解的主要因素^[22]。因此在生物结皮的影响下土粒间的胶结力增强,其抵抗水的分解作用增强,从而提高了土壤抗崩解性。此外,去除结皮处理下,结皮样地土壤崩解量也明显低于对照样地,这是因为土壤物理结构在降雨打击、土壤本身重力、微生物活动等影响下发生了变化,土壤结构变得密实、有机质积累量增多,土粒间胶结作用增强,其抵抗水分作用的能力也增强^[23],土壤抗崩解性随之提高。

为消除土壤结构随年限变化对土壤崩解性造成的影响,本研究分析了 4 个结皮样地保留结皮与去除结皮后崩解量变化率(N)随年限的变化,结果见图 2。由图 2 可知,不同发育年限,去除结皮后崩解量增大程度不同。在有结皮发育的样地, N 最小为 21.85% (23 a),最大可达 43.46% (10 a)。说明不同生长年限生物结皮对崩解量的影响不同。这是因为随着发育年限的增加,生物结皮种类、结皮厚度、土壤有机质含量等特征均发生了变化^[11]。结皮种类的演变,结皮厚度增大,有机质含量的积累对土壤结构、土粒间胶结作用产生影响,从而造成不同发育年限生物结皮对土壤崩解性影响不同的现象。结皮前 10 a 快速发育,这种差异性呈增长变化,其对土壤崩解的影响程度也呈逐渐增加的趋势,之后结皮发育变缓,结构逐步趋于稳定,其对土壤崩解性的影响也逐渐降低并趋于稳定。

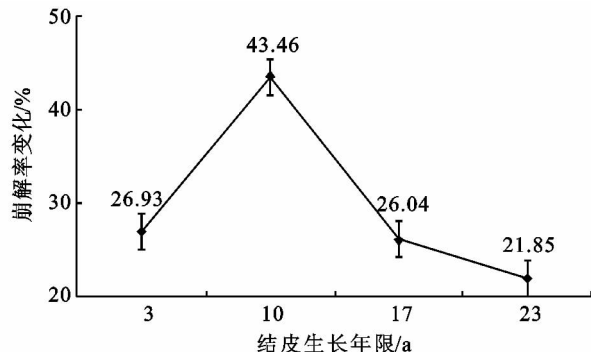


图 2 生物结皮生长年限对崩解量的影响

2.2 生物结皮对土壤抗剪强度的影响

土壤抗剪强度从力学角度反映土壤抗蚀性能,是最能体现出土壤抵抗径流冲刷剪切能力的指标之一。

诸学者通过直接测定生物结皮抗剪强度的方法,证明了生物结皮与结皮下土壤相比具有较大的粘结力,进而认为生物结皮对提高土壤抗蚀性有一定作用。这些研究大部分仅限于对结皮层的研究,对于下层土壤抗剪强度的研究尚少,忽略了结皮与结皮下土壤的“一体性”。本研究对各样地在保留结皮、去除结皮两种处理后 0—5 cm 层的土壤抗剪强度进行了测定,通过分析其差异性分析生物结皮及结皮下土体的抗剪强度。

由图 3 可以看出,与没有结皮的样地(0 a)相比,有生物结皮发育的样地(3,10,17,23 a)土壤的抗剪强度明显较高;在保留与去除结皮两种处理下,保留生物结皮下土壤的抗剪强度明显高于去除结皮处理。这说明,生物结皮的发育增加了土壤的抗剪强度。分析其原因,这主要是因为结皮层具有较强的粘结力,前人也对这方面进行了一定研究^[1]。首先,生物结皮中的生物根系、菌丝本身具有一定的抗剪性,加之它们对土粒的缠绕、包裹作用,提高了土粒间的粘结力,增强了土体稳定性,从而提高了土壤抗剪强度。其次,微生物生长产生的大量分泌物及腐烂后的生物体增加了土壤有机质含量,都为土粒胶结提供了物质条件,有利于提高土壤抗剪强度。此外,通过对比发现:去除结皮后,结皮样地土壤抗剪强度也明显大于对照地,这主要是因为降雨打击、土壤本身重力、微生物活动等影响下,土壤结构发生了变化,从而影响了土壤抗剪强度^[24]。

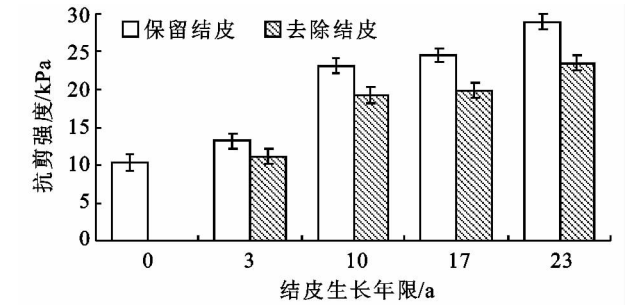


图 3 不同生物结皮 0—5 cm 层土壤抗剪强度

不同发育程度的结皮对抗剪强度的影响也不同,图 4 为结皮样地不同发育年限下结皮对 0—5 cm 层土壤抗剪强度的影响率(N_j)。图 4 表明,生物结皮最高可以提高土壤抗剪强度 23.45%(23 a),最低可以提高 17.91%(3 a)。随着结皮发育年限的增加,生物结皮对土壤抗剪强度的影响作用逐渐变强,但峰值不明显,基本表现为:在 3~17 a 段,生物结皮对土壤抗剪强度影响的变化率较大,17 a 后,影响率变化较小。这是因为在生物结皮发育前期,其生长旺盛,微生物根系、菌丝等迅速生长,复合层土壤粘结力迅速增强;

而到后期,复合层发育逐渐稳定,下层土体结构、理化性质等也逐渐趋于稳定,生物结皮复合层对整个土体抗剪强度的影响程度也保留在一定水平,并趋于稳定。

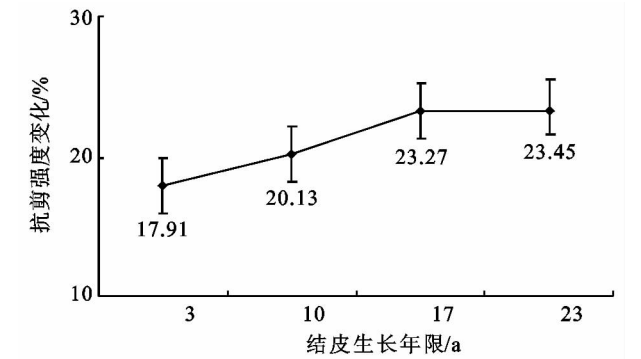


图 4 生物结皮年限对抗剪强度的影响

2.3 生物结皮下土壤崩解量与抗剪强度的关系

土壤崩解性与抗剪强度是评价土壤抗蚀性的两个重要指标。土壤侵蚀过程是水与土相互作用的复杂过程,土壤抗剪强度从力学角度反映了土壤的抗蚀性,由土粒凝聚力、摩擦强度和在不稳定凝聚力组成,是土粒与土粒间作用力的体现^[25];崩解性主要体现了土壤抵抗水的分解作用的能力,主要反映土粒与水的相互作用。通过建立抗剪强度与崩解量的关系可以分析出两个不同指标间的相互作用关系。

由图 5 可以看出,崩解量与抗剪强度大致呈线性关系(生物结皮 $R^2=0.9907$,去除结皮 $R^2=0.9396$),随着抗剪强度的增加,崩解量降低。这是因为随着土粒间凝聚力、摩擦力等的增大,水不容易进入土粒缝隙,而且土粒不易随着水分的微小运动而发生相对活动,因此土粒抵抗水对其分解的作用也增强。对比两种处理下抗剪强度与崩解量的关系发现,生物结皮下崩解量随抗剪强度的变化率较小($4.5529 < 6.8078$)。这是因为生物结皮层微生物根系缠绕及其分泌物的胶结作用等增强了土粒间的作用力,使土体不容易被水分分解而破坏。

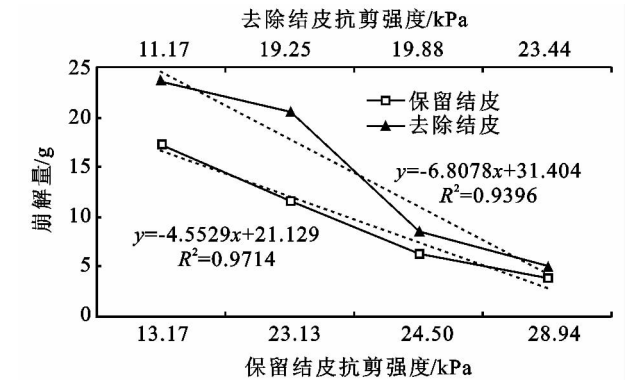


图 5 生物结皮崩解量与抗剪强度关系

3 结论

(1) 生物结皮可以提高土壤抗崩解性能,减少崩解量从21.85%至43.46%递增,有利于提高土壤抗蚀性;随着结皮生长年限的增加,其对土壤崩解性的影响程度变大,10 a时达到最大,10 a后逐渐趋于稳定。

(2) 生物结皮对0—5 cm层土壤抗剪强度有明显影响,可以使该土层抗剪强度提高17.91%~23.45%;随着结皮发育年限的增长,对土壤抗剪强度的影响程度逐渐变大之后逐渐趋于稳定,峰值不明显。

(3) 不同样地土壤崩解性与抗剪强度呈线性负相关,生物结皮发育对土壤崩解性与抗剪性的关系有影响,使崩解量随抗剪强度的变化小。

参考文献:

- [1] 赵允格,许明祥,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):441-448.
- [2] 李守中,肖洪浪,李新荣,等.干旱、半干旱地区微生物结皮土壤水文学的研究进展[J].中国沙漠,2004,24(4):500-506.
- [3] 肖波,赵允格,邵明安.陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤饱和导水率的影响[J].农业工程学报,2007,23(12):35-40.
- [4] 肖波,赵允格,邵明安.陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤理化性质的影响[J].生态学报,2007,27(11):4662-4670.
- [5] Gupta V V S R, Germida J J. Distribution of microbial biomass and its activity in soil aggregate size classes as affected by cultivation[J]. Soil Biol. Biochem., 1988, 20(6):777-786.
- [6] Belnap J. Surface disturbances: their role in accelerating desertification[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1995, 37(1/3):39-57.
- [7] 肖波,赵允格,许明祥,等.陕北黄土区生物结皮条件下土壤养分的积累及流失风险[J].应用生态学报,2008,19(5):1019-1026.
- [8] 孟杰,卜崇峰,李莉,等.侵蚀条件下生物结皮对坡面土壤碳氮的影响[J].中国水土保持科学,2011,9(3):45-51.
- [9] 张健,刘国彬,许明祥.黄土丘陵区退耕地生物结皮影响下的土壤腐殖质分异特征[J].土壤,2010,42(4):541-547.
- [10] Beinap J, Gardner J S. Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: the role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*[J]. Great Basin Nat., 1993, 53(1):40-47.
- [11] 张振国,焦菊英,白文娟.黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复中生物土壤结皮特征[J].水土保持通报,2006,26(4):33-36.
- [12] 卜楠,朱清科,王蕊,等.陕北黄土区生物土壤结皮抗冲性研究[J].北京林业大学学报,2009,31(5):96-101.
- [13] 冉茂勇,赵允格,刘玉兰.黄土丘陵区不同盖度生物结皮土壤抗冲性研究[J].中国水土保持,2011(12):43-45.
- [14] 冉茂勇,赵允格,陈彦芹.黄土丘陵水蚀区生物结皮土壤抗冲性试验研究[J].西北林学院学报,2009,24(3):37-40.
- [15] 阮伏水,吴雄海.关于土壤可蚀性指标的讨论[J].水土保持通报,1996,16(6):16-20.
- [16] 蒋定生.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997:99-105.
- [17] 张爱国,李锐,杨勤科.中国水蚀土壤抗剪强度研究[J].水土保持通报,2001,21(3):5-9.
- [18] 潘剑君, Bergsma Ir E. 利用土壤入渗速率和土壤抗拉剪力确定土壤侵蚀等级[J].水土保持学报,1995,9(2):93-96.
- [19] 程瑾.十字板剪切试验的综合应用[J].工程勘察,2008(增1):83-91.
- [20] 蒋定生,李新华,范兴科,等.黄土高原土壤崩解速率变化规律及影响因素研究[J].水土保持通报,1995,15(3):20-27.
- [21] 郑云普,赵建成,张丙昌,等.荒漠生物结皮中藻类和苔藓植物研究进展[J].植物学报,2009,44(3):371-378.
- [22] 李喜安,黄润秋,彭建兵.黄土崩解性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(增1):3207-3213.
- [23] 黄义端,田积莹,雍绍萍.土壤内在性质对侵蚀影响的研究[J].水土保持学报,1989,3(3):9-14.
- [24] 张爱国,李锐,杨勤科.中国水蚀土壤抗剪强度研究[J].水土保持通报,2001,21(3):5-9.
- [25] 邵生俊,陶虎,许萍.黄土结构性力学特性研究与应用的探讨[J].岩土力学,2011,32(增2):42-50.