

## 黄土丘陵区生物土壤结皮层水稳性\*

杨凯<sup>1,2</sup> 赵允格<sup>2\*\*</sup> 马昕昕<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨凌 712100)

**摘要** 采用改进的土壤水稳性团聚体数量测定方法, 研究了黄土丘陵区不同组成和生物量的生物结皮层水稳性. 结果表明: 生物结皮层的水稳性与其生物组成有关, 苔藓结皮的水稳性显著高于藻结皮, 震荡 390 次后, 苔藓结皮的厚度和质量损失率仅分别是藻结皮损失率的 47.3% 和 40.1%; 生物结皮层水稳性与生物结皮的生物组成有关, 60% 以上苔藓覆盖度的生物结皮的稳定性最高, 质量和厚度损失率分别是藻结皮(无苔藓覆盖) 损失率的 28.6% 和 22.7%; 生物结皮层水平方向结构水稳性显著大于垂直方向, 震荡 390 次后, 苔藓结皮的面积损失率仅为厚度损失率的 6.4%. 试验分析证实, 生物结皮层是一种水平方向稳定性极强的层状结构体, 这一结构特性增强了其抗风蚀和水蚀的能力.

**关键词** 生物土壤结皮 土壤结构 水稳性 藓结皮 藻结皮

文章编号 1001-9332(2012)01-0173-05 中图分类号 S152.4, S181 文献标识码 A

**Water stability of biological soil crusts in hilly regions of Loess Plateau, Northwest China.**  
YANG Kai<sup>1,2</sup>, ZHAO Yun-ge<sup>2</sup>, MA Xin-xin<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry-land Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2012 23(1): 173-177.

**Abstract:** By using an improved wet sieving method, this paper studied the water stability of biological soil crusts with different biological components and biomass in the hilly regions of Loess Plateau. The water stability of the biological soil crusts was related to the crusts' biological components. Moss-dominated crust had significantly higher water stability than cyanobacteria-dominated crust. After 390 shakings, the thickness- and mass losses of moss-dominated crust were only 47.3% and 40.1% of those of cyanobacteria-dominated crust, respectively. Moss-dominated crust had the highest water stability when the moss coverage was up to 60%, and the thickness- and mass losses were 22.7% and 28.6% of those of cyanobacteria-dominated crust (no moss coverage), respectively. The horizontal stability of the biological soil crusts was significantly higher than the vertical stability. After 390 shakings, the area loss of moss-dominated crust was only 6.4% of thickness loss. The biological soil crusts had a layer structure with strong stability in horizontal direction, which increased the crusts' resistance against wind- and water erosion.

**Key words:** biological soil crust; soil structure; water stability; moss-dominated crust; cyanobacteria-dominated crust.

生物土壤结皮(生物结皮)是由隐花植物(如蓝绿藻、地衣、苔藓类)和土壤中微生物以及其他生物体通过菌丝体、假根和分泌物等与土壤表层颗粒胶结形成的十分复杂的复合体,存在于土壤表面<sup>[1]</sup>.

\* 国家自然科学基金面上项目(40971174, 41171422)、中国科学院“西部之光”人才培养计划项目和西北农林科技大学青年科研骨干项目资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: zyunge@ms.iswc.ac.cn  
2011-05-31 收稿, 2011-10-11 接受.

由于结皮组分对水分的要求和对光温条件的忍耐力,生物结皮广泛分布于占全球面积 1/3 的干旱半干旱地区,是干旱半干旱荒漠地表景观的重要组成部分之一,在荒漠生态系统中起着十分重要的作用<sup>[2-3]</sup>. 生物结皮中苔藓、藻类、地衣细菌和真菌的地下菌丝和假根能分泌胶状有机物粘结沙粒<sup>[4-5]</sup>,使小于 0.25 mm 的土壤颗粒团聚为稳定的大于 0.25 mm 的微团聚体,促使土表的稳定性增强而避免风蚀和

水蚀<sup>[6-7]</sup>对降低防沙固沙的投入成本和改善生态环境起着积极作用<sup>[8-10]</sup>。荒漠生态系统是一个土壤养分十分贫瘠的系统,生物结皮的存在能够显著改变土壤 pH、植物所需重要养分的含量和有效性、酶活性以及土壤有机质<sup>[11-12]</sup>。在寒区荒漠的研究表明,生物结皮的存在增加了大多数生命重要元素(包括 N、K、Ca、Mg、P、Fe、Mn、Cl 和 S)在表土中的含量<sup>[13-15]</sup>,生物结皮的存在对荒漠系统的能流和物流、养分循环产生了重要影响。

由于生物结皮在生态系统中的重要作用,国内外对其的研究也在逐渐深入,但迄今对生物结皮结构的研究还集中于物理结皮,尤其是雨滴击打所形成的结皮<sup>[16-18]</sup>。张元明<sup>[19]</sup>通过电镜扫描等手段探讨了生物结皮不同发育阶段沙粒胶结的不同形式和机理。Eldridge 和 Leys<sup>[20]</sup>指出,生物结皮可增加土壤团聚体含量,但生物结皮层本身是一什么样的结构,土壤稳定性和抗侵蚀能力增加的原因是什么,是生物结皮对土壤结构的改善,还是由于生物结皮层本身的性质?目前尚很少有研究关注。

在我国的黄土高原地区,由于近年来退耕还林草工程的实施,生物结皮广泛发育,覆盖率甚至高达 70%<sup>[3]</sup>,显著增进了土壤的抗侵蚀性<sup>[21-22]</sup>。为此,本研究采用改进了的水稳性土壤团聚体数量测定方法,研究了黄土高原丘陵沟壑区不同组成及生物量的生物结皮层的稳定性,为揭示生物结皮土壤抗侵蚀机理提供依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验于 2010 年 7—8 月在中国科学院安塞水土保持综合试验站的试验示范区(36°43′—36°46′ N, 109°14′—109°16′ E, 平均海拔 1200 m)内进行。该站地处黄土高原中部的陕西省延安市安塞县境内,属典型的梁峁状丘陵沟壑区。由于强烈的侵蚀,该区地带性土壤(黑垆土)侵蚀殆尽,调查样地土壤均为黄绵土。试验地年均气温 8.8 °C,年均降水量 500 mm,年日照时数 2300~2400 h,日照百分率达 54%,全年无霜期约 160 d,干燥度 1.48。采样区生物结皮主要组成为短叶扭口藓(*Didymodon tectorum*)和深色藻结皮,生物结皮盖度在 60%~90%。

### 1.2 样地选择及样品采集

以研究区退耕 30 a 的撂荒坡地为研究对象,选择人为扰动少、生物结皮相对完整的 2 块坡地作为研究样地。样地地形为梁峁坡,每个样地面积约

200 m<sup>2</sup>,主要覆盖植物群落为铁杆蒿、柠条、沙棘、长芒草等,植被盖度为 60%~70%。每个样地设 4 个重复,在每个重复中选择 5 个样点,用铁铲从生物结皮层与下伏土壤分界处铲下生物结皮,装入袋中,放入铝盒,保持结皮不受碰撞挤压,带回实验室备用。

### 1.3 研究方法

试验方法在土壤团聚体稳定性湿筛法<sup>[17]</sup>的基础上改进而成。试验前,从采集的样品中选择生物结皮样若干块,分割为 2 cm×2 cm 左右的小块,置于水中饱和 1 min 后,放入筛中上下垂直震荡,使用仪器为 FT-3 型电动团粒分析仪,震荡周期为 1.9 s。每震荡 30 次,取出结皮,测量其厚度、质量及面积的变化,每样品设 4 次重复。

### 1.4 测定项目

生物结皮厚度:于试验开始前及每次震荡结束后测量 5 个不同点位的厚度,取其平均为一个样本厚度值(mm)。

生物结皮质量:于试验开始前及每次震荡结束后测量 4 个重复的质量(g)。

生物结皮面积:于试验开始前及每次震荡结束后用相机从一固定高度垂直照相,使用 CIAS 软件测算生物结皮面积(mm<sup>2</sup>)的变化。

### 1.5 数据处理

为了探索不同组成及生物量的生物结皮在纵向(厚度)和横向(面积)稳定性的差异,先将每个重复的多次测定数据(主要指厚度)取平均值,然后用多个重复所得的厚度、面积及质量损失取平均数,通过 SPSS 软件对不同组成及生物量生物结皮的厚度、面积及质量平均值进行单因素方差分析,显著性水平为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物结皮厚度、质量、面积对震荡次数的响应

**2.1.1 生物结皮层厚度对震荡次数的响应** 试验开始前,苔藓结皮平均厚度 9.4 mm,震荡至 390 次时平均厚度为 4.9 mm,较震荡前降低了 57.6%;震荡至 630 次时,结皮平均厚度为 4.4 mm,与震荡 390 次时差异不显著,表明苔藓结皮厚度损失已达到稳定(图 1)。藻结皮初始厚度为 5.1 mm,震荡至 210 次的厚度降为 3.4 mm,损失率为 32.2%。震荡次数从 210 次到 390 次,厚度损失只有 0.03%(图 1)。苔藓结皮较藻结皮更稳定,前者在震荡次数达到 400 次左右时达到稳定,后者则在 200 次时达到稳定。生物结皮层厚度损失表明生物结皮垂直方向结构的稳

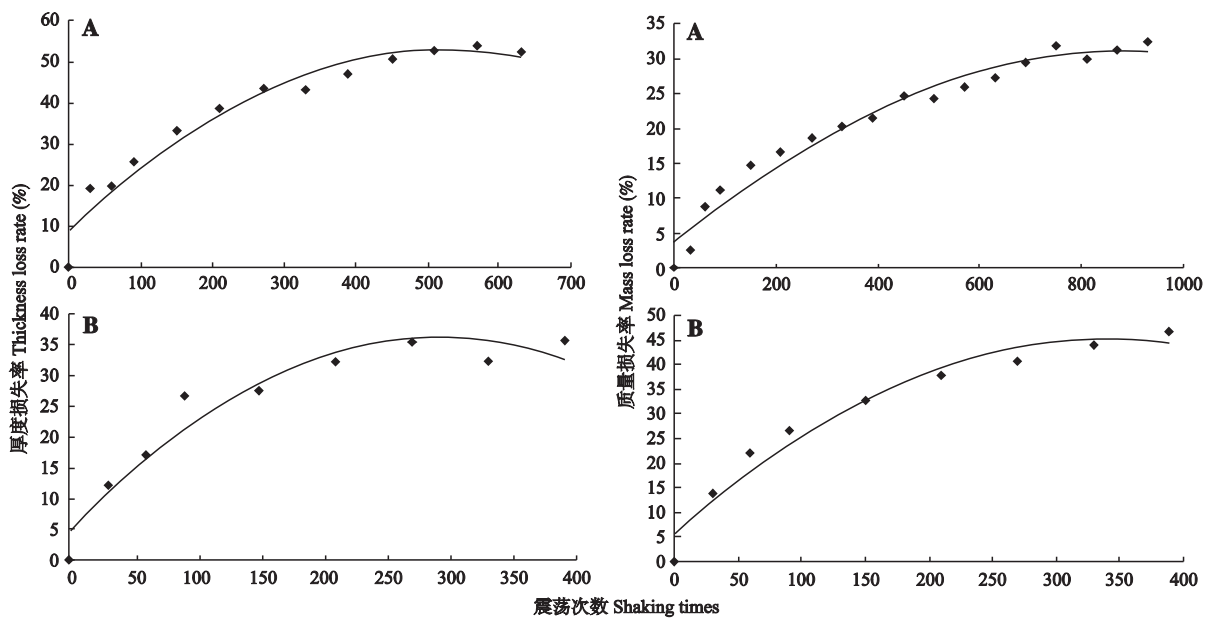


图1 苔藓结皮(A)与藻结皮(B)厚度和质量对震荡次数的响应

Fig.1 Thickness and quality responding of moss dominated crust (A) and cyanobacteria dominated crust (B) to shaking.

定性较弱,在水中易崩解损失。

**2.1.2 生物结皮层质量对震荡次数的响应** 苔藓结皮初始平均质量为 7.09 g,震荡至 570 次时,平均质量降为 5.34 g,损失率为 26.0%,在震荡 570 次以后,质量不再显著降低;藻结皮初始平均质量为 7.15 g,震荡 90 次后,平均质量降为 4.99 g,损失率为 26.6%,此后质量损失不显著(图 1)。生物结皮层下层土壤质量损失率与厚度损失率的变化相吻

合,表明下层土壤在水中十分容易崩解。

**2.1.3 生物结皮层面积对震荡次数的响应** 由图 2 可以看出,两种生物结皮面积损失率均较低。苔藓结皮初始平均面积为 317.1 mm<sup>2</sup>,震荡 930 次后降为 299.4 mm<sup>2</sup>,损失率为 4.8%,仅分别是厚度和质量损失率的 9.1% 和 14.8%;藻结皮初始面积为 296.2 mm<sup>2</sup>,震荡 390 次后降为 259.3 mm<sup>2</sup>,损失了 10.5%,分别是厚度和质量损失率的 29.3% 和 24.4%。方差分析结果表明,震荡 930 次苔藓结皮面积、震荡 390 次藻结皮面积与各自初始面积的差异均不显著,即分别历经 930 次和 390 次震荡后,苔藓结皮和藻结皮的面积几乎无变化。生物结皮层的质量损失均由垂直方向的厚度损失造成,表明生物结皮在横向的水平稳定性非常高。由苔藓结皮震荡前与震荡 930 次后的对比照片(图 3)可以直观地看出,结皮面积的变化不明显。

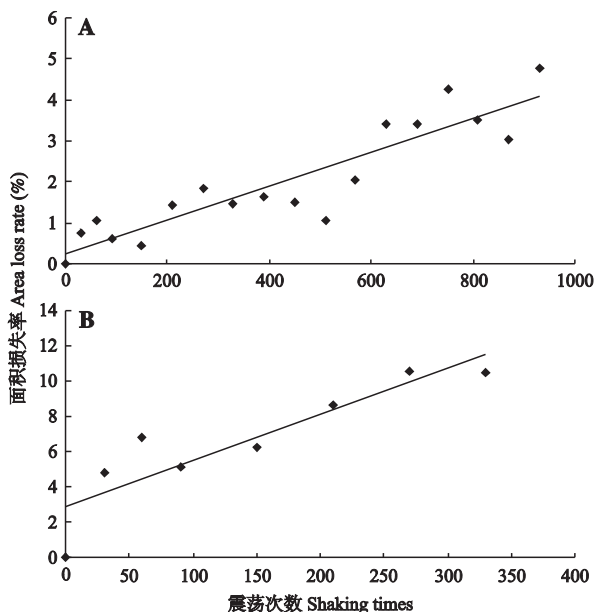


图2 苔藓结皮(A)与藻结皮(B)面积对震荡次数的响应

Fig.2 Area responding of moss dominated crust (A) and cyanobacteria dominated crust (B) to shaking.

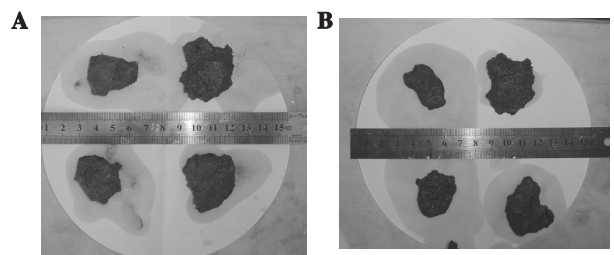


图3 震荡前与震荡 930 次后生物结皮面积的变化

Fig.3 Crust area changing before and after shaking 930 times.  
A: 震荡前 Before shaking; B: 震荡 930 次后 After 930 shaking times.

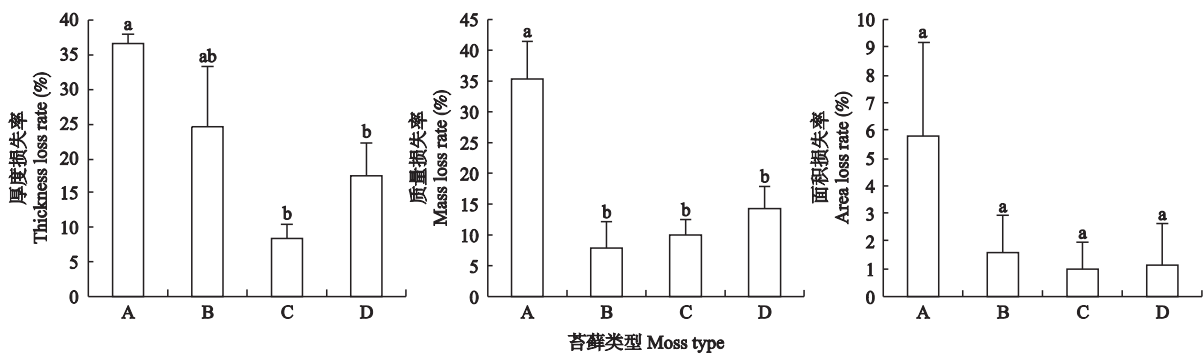


图4 不同苔藓盖度生物结皮质量、厚度、面积的损失率

Fig. 4 Loss rate of biological soil crusts in mass, thickness and area with different moss coverages (mean±SE).

A: 藻 Cyanobacteria; B: 20% 苔藓 20% moss; C: 60% 苔藓 60% moss; D: 80% 苔藓 80% moss. 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters meant significant difference among different treatments at 0.05 level.

## 2.2 生物量对生物结皮水稳性的影响

生物结皮的水稳性不仅与其生物组成有关,还与生物量有关.本文以苔藓植物的覆盖度代表其生物量变化.不同覆盖度苔藓生物结皮层在震荡390次后,厚度、质量、面积变化的方差分析结果表明4个不同生物量的生物结皮面积损失率差异不显著;60%苔藓覆盖度的生物结皮与80%苔藓覆盖的生物结皮厚度损失率差异不显著;藻结皮与其他3个生物量的生物结皮的质量损失率的差异达显著水平,其余3个处理之间的差异不显著(图4).藻结皮(苔藓植物覆盖度为0)质量、厚度和面积的损失率均最大,与苔藓结皮的差异较大,说明藻结皮的水稳性最差,而苔藓生物量对生物结皮的水稳性影响有待继续深入探讨.

## 3 结论

生物结皮是由隐花植物、土壤中微生物和其他生物体等与土壤表层颗粒复合而成的一种层状结构<sup>[2, 23]</sup>,显著影响土壤稳定性.目前,相关研究大多关注生物结皮如何影响土壤团聚体数量和稳定性,进而改善土壤稳定性<sup>[16]</sup>,鲜有研究探索生物结皮本身层状结构的稳定性,以及生物结皮自身结构稳定性与其抗侵蚀性的关系.本研究借助传统的土壤结构体稳定性测定方法——湿筛法<sup>[24]</sup>,采用试验分析手段研究了生物结皮层结构体稳定性特征,以揭示生物结皮层水稳性与其抗侵蚀性之间的内在关系.研究结果表明,生物结皮层在历经30次震荡后(土壤团聚体水稳测定的常用震荡次数),面积几乎没有变化,仅厚度略有减少.为此,本研究将原有30次震荡次数依据生物结皮层的变化以30次的倍数进行震荡,以研究生物结皮层质量、厚度、面积对

震荡次数的响应,探索生物结皮层的水稳性.结果表明,在震荡390次后,藓结皮厚度较震荡前降低了57.6%,而面积仍无显著性变化,甚至震荡930次时藓结皮的面积损失率也仅为4.8%.说明作为层状结构的生物结皮在水平方向上的稳定性远高于垂直方向,这可能与结皮生物的粘结和捆绑作用有关<sup>[19]</sup>;此外,生物结皮层的水稳性与其生物组成有关,苔藓结皮的水稳性显著强于藻结皮,震荡390次后,苔藓结皮的厚度和质量损失仅分别是藻结皮的47.3%和40.1%,其机理仍需进一步试验研究.在藻结皮向苔藓结皮过渡过程中,相同震荡次数下,随着苔藓盖度的增加,结皮层质量和厚度的损失随之减少,60%以上苔藓覆盖度的损失最小,质量损失和厚度损失分别仅是藻结皮(无苔藓覆盖)的28.6%和22.7%,表明生物结皮的生物量,特别是藓类植物的生物量是生物结皮稳定性的另一个重要影响因子.

致谢 感谢中国科学院安塞水土保持综合试验站对本研究的大力支持.

## 参考文献

- [1] Belnap J, Gardner JS. Soil microstructure in soils of the Colorado plateau: The role of the cyanobacterium microcoleus-vaginatus. *The Great Basin Naturalist*, 1993, 53: 40-47
- [2] Belnap J. Microbes and microfauna associated with biological soil crusts // Belnap J, Lange OL, eds. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Berlin: Springer-Verlag, 2003: 167-174
- [3] Zhao Y-G (赵允格), Xu M-X (许明祥), Wang Q-J (王全九), et al. Impact of biological soil crust on soil physical and chemical properties of rehabilitated grassland in Hilly Loess Plateau, China. *Journal of Natural*

- Resources (自然资源学报), 2006, **21**(3): 441-448 (in Chinese)
- [4] Belnap J. Surface disturbances: Their role in accelerating desertification. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1995, **37**: 39-57
- [5] Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 1982, **33**: 146-163
- [6] Greene RSB, Chartres CJ. The effect of fire on the soil of the degraded semiarid woodland. I. Cryptogam cover and physical micromorphological properties. *Australian Journal of Soil Research*, 1990, **28**: 755-777
- [7] Greene RSB, Tongway DJ. The significance of (surface) physical and chemical properties in determining soil surface condition of red-earths in rangelands. *Australian Journal of Soil Research*, 1989, **27**: 213-225
- [8] Rogers RW. Bluegreen algae in southern Australian rangeland soils. *Australian Rangeland Journal*, 1989, **11**: 67-73
- [9] Li X-R (李新荣), Zhang J-G (张景光), Wang X-P (王新平), et al. Study on soil microbiotic crust and its influences on sand-fixing vegetation in arid desert region. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 2000, **42**(9): 965-970 (in Chinese)
- [10] Li X-R (李新荣), Jia Y-K (贾玉奎), Long L-Q (龙利群), et al. Advances in microbiotic soil crust research and its ecological significance in arid and semiarid regions. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2001, **21**(1): 4-11 (in Chinese)
- [11] Zhao Y-G (赵允格), Xu M-X (许明祥), Wang Q-J (王全九), et al. Physical and chemical properties of soil bio-crust on rehabilitated grassland in hilly Loess Plateau of China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(8): 1429-1434 (in Chinese)
- [12] Zhao H-L (赵哈林), Guo Y-R (郭轶瑞), Zhou R-L (周瑞莲), et al. Effects of vegetation cover on physical and chemical properties of bio-crust and under-layer soil in Horqin Sand Land. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20**(7): 1657-1663 (in Chinese)
- [13] Fearnough W, Fullen MA, Mitchen Trueman DJ, et al. Aeolian deposition and its effect on soil and vegetation changes on stabilized desert dunes in northern China. *Geomorphology*, 1998, **23**: 171-182
- [14] Fullen MA, Mitchell DJ. Desertification and reclamation in North-central China. *Ambio*, 1994, **23**: 131-135
- [15] Harper KT, Pendleton RL. Cyanobacteria and cyanolichens: Can they enhance availability of essential minerals for higher plants? *The Great Basin Naturalist*, 1993, **53**: 59-72
- [16] Tarchitzky J, Banin A, Morin J, et al. Nature, formation and effects of soil crusts formed by water drop impact. *Geoderma*, 1984, **33**: 135-155
- [17] Onofriok O, Singer M. Scanning electron microscope studies of the surface crusts formed by simulated rainfall. *Soil Science Society of America Journal*, 1984, **48**: 1137-1143
- [18] Arshad MA, Mermut AR. Micromorphology and physical-chemical characteristics of soil crust types in northwestern Alberta, Canada. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, **52**: 724-729
- [19] Zhang Y-M (张元明). The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 2005, **50**(1): 42-47 (in Chinese)
- [20] Eldridge DJ, Leys JF. Exploring some relationships between biological soil crusts, soil aggregation and wind erosion. *Journal of Arid Environments*, 2003, **53**: 457-466
- [21] Xiao B (肖波), Zhao Y-G (赵允格), Shao M-A (邵明安). Artificial cultivation of biological soil crust and its effects on soil and water conservation in water-wind erosion crisscross Region of Loess Plateau, China. *Acta Agraria Sinica* (草地学报), 2008, **16**(1): 28-33 (in Chinese)
- [22] Ran M-Y (冉茂勇), Zhao Y-G (赵允格), Chen Y-Q (陈彦芹). Experimental study on the soil anti-scourability of biological crust in the water erosion region in Loess Hilly areas. *Journal of Northwest Forestry University* (西北林学院学报), 2009, **24**(3): 37-40 (in Chinese)
- [23] Li X-R (李新荣), Zhang Y-M (张元明), Zhao Y-G (赵允格). A study of biological soil crusts: Recent development, trend and prospect. *Advances in Earth Science* (地球科学进展), 2009, **24**(1): 11-24 (in Chinese)
- [24] Sun H-L (孙鸿烈), Liu G-S (刘光崧). Soil Physical and Chemical Analysis Description of Soil Profiles. Beijing: China Standards Press, 1996 (in Chinese)

作者简介 杨 凯,男,1988年生,硕士研究生,主要从事生物结皮生态功能研究。E-mail: yangkai0409@163.com

责任编辑 杨 弘