

# 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮中微生物分布特征\*

吴永胜 哈 斯\*\* 李双权 刘怀泉

(北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

**摘 要** 为探明半干旱沙区生物结皮中微生物分布特征, 对毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮中微生物数量进行了测定。结果表明: 微生物总数从丘顶到丘间地呈递增趋势, 除丘顶与迎风坡、迎风坡与背风坡结皮层微生物总数差异不显著外, 其他各地貌部位结皮层微生物数量之间差异显著。同一地貌部位结皮层、0~5 和 5~10 cm 土层微生物垂直分布有变化, 其变化规律为: 除迎风坡放线菌数量呈先增加后递减、迎风坡微生物总数、细菌、真菌和丘顶真菌数量随剖面的加深呈递减外, 其他各地貌部位微生物数量均呈先降低, 后增加的趋势。微生物类群的组成表现为细菌最多, 放线菌次之, 真菌最少。在丘间地细菌所占微生物总数的比例与丘顶相比有所增加, 而放线菌和真菌的比例有所减少。结皮下 0~5 和 5~10 cm 土层微生物分布与土壤含水量的变化同步, 说明土壤水分可能是影响微生物垂直分布的重要因子。

**关键词** 生物结皮; 微生物; 分布特征; 毛乌素沙地

**中图分类号** S154.36 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)8-1624-05

**Distribution patterns of microorganisms in biological crusts on sand dunes of southern Mu Us sandy land.** WU Yong-sheng, HA Si, LI Shuang-quan, LIU Huai-quan (State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(8): 1624–1628.

**Abstract:** To better understand the distribution patterns of microorganisms in biological crusts in semiarid sandy region, measurements were made on the quantities of microorganisms in the biological crusts in southern Mu Us sandy land. From the top of sand dune to the inter-dune, the total number of the microorganisms had an increasing trend, and had significant difference in the crust layer at different geomorphic locations ( $P < 0.05$ ), except that between the top of sand dune and the windward slope, and between windward slope and lee slope. In the crust layer and the 0–5 cm and 5–10 cm soil layers under crust at the same locations, the vertical distribution of microorganisms varied. Generally, with the deepening depth, the quantities of microorganisms increased after an initial decrease, but the quantities of actinomyces on the windward slope decreased after an initial increase, and the quantities of the total number of microorganisms, bacteria, and fungi on the windward slope as well as the quantities of fungi on the top of sand dune decreased continually. Among the microorganism groups, bacteria were predominant, followed by actinomyces, and fungi. The proportion of bacteria in the total number of microorganisms was higher in inter-dune than on the top of sand dune, but the proportions of actinomyces and fungi in the total number of microorganisms were opposite. The vertical distribution of microorganisms in the 0–5 cm and 5–10 cm soil layers under crust was in accord with soil moisture content, and accordingly, the latter could be the key factor affecting the vertical distribution of soil microorganisms.

**Key words:** biological crust; microorganism; distribution pattern; Mu Us sandy land.

\* 国家自然科学基金项目(40771020)和国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD26B07)。

\*\* 通讯作者 E-mail: hasi@bnu.edu.cn

收稿日期: 2010-01-15 接受日期: 2010-05-05

生物结皮是由微生物、藻类、地衣和苔藓等孢子植物类群与土壤形成的有机复合体。它对于旱半干旱区土壤结构 (Eldridge & Leys, 2003)、土壤水分 (Wang *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2008b)、土壤侵蚀 (Kidron, 2007; Zhang *et al.*, 2008b)、土壤养分积累 (Guo *et al.*, 2008)、土壤和根际相互作用 (Belnap *et al.*, 2003; Green *et al.*, 2008) 和维管植物的演替等过程 (张元明和王雪芹, 2008) 均产生重要的影响。

微生物在生物结皮的形成过程中扮演着重要角色 (吴楠等, 2004)。它不仅调节着降解和矿化速率, 而且影响土壤养分有效性和初级生产力, 对生态系统养分循环和能量流动发挥着不可替代的作用 (Belnap *et al.*, 2003; Viles, 2008)。有关生物结皮中微生物分布特征的研究集中在腾格里沙漠沙坡头地区 (陈祝春和李定淑, 1987; 邵玉琴和赵吉, 2004)、古尔班通古特沙漠 (吴楠等, 2005) 和库布齐沙漠 (邵玉琴等, 2001) 等广袤的干旱区, 鲜见半干旱沙区生物结皮中微生物分布特征的研究报道。本文对毛乌素沙地典型沙丘不同地貌部位生物结皮中微生物数量及其垂直变化特征进行研究, 分析其在生物结皮中的分布特征, 探讨微生物与生物结皮发育程度和含水量之间的相互关系。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

实验区设置在毛乌素沙地南缘, 鄂尔多斯高原向陕北黄土高原的过渡地区, 地理坐标  $108^{\circ}50'54''\text{E}$ — $108^{\circ}58'00''\text{E}$ ,  $37^{\circ}38'42''\text{N}$ — $37^{\circ}42'42''\text{N}$ , 海拔 1350 m, 属半干旱气候。年平均降水量 394.7 mm, 降水主要集中在夏季, 降水变率大, 最大降水量达 744.6 mm (1964 年), 最小降水量仅 205 mm (1965 年); 多年平均蒸发量为 2484.5 mm。地貌景观以流动、半固定、固定沙丘与湖盆滩地相间。固定、半固定沙丘上生物结皮广泛发育, 且以藻类结皮为主, 丘间地则以苔藓结皮为主, 沙丘沉积物机械组成以细砂为主 (哈斯等, 2006)。本区属暖温性草原带, 植被覆盖度低, 主要植物有白沙蒿 (*Artemisia blepharolepis*)、沙米 (*Agriophyllum squarrosum*)、软毛虫实 (*Corispermum puberulum*) 和沙竹 (*Psammochloa villosa*) 等。

### 1.2 样品采集

于 2009 年 5 月, 在研究区选择生物结皮发育良好的典型沙丘共 3 个, 按迎风坡-丘顶-背风坡-丘间

地的顺序 (图 1), 采集沙丘不同地貌部位结皮层、结皮下层 0~5 和 5~10 cm 处样品各 5 个, 最后将把 3 个沙丘同一地貌部位、同一深度所采集的分析样品均匀混合后将其装入聚乙烯袋中, 置保温箱中速带回实验室, 将可见的植物残体等去除后  $4^{\circ}\text{C}$  保存备用。均匀混合好的样品中取一定量的新鲜样品用于其含水量的分析。

### 1.3 分析方法

微生物的分离和计数采用稀释平板法。细菌的培养采用牛肉膏蛋白胨培养基, 放线菌的培养采用高氏 1 号培养基, 真菌的培养采用马丁氏培养基 (沈萍等, 2001)。接种后的细菌培养基置于  $37^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱中倒置培养 3 d 后计数, 放线菌和真菌培养基置于  $28^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱中倒置培养 5 d 后计数。含水量的测定采用烘干称重法。

### 1.4 数据处理

原始数据分析和绘图在 Excel 2003 中完成, 统计分析软件为 SPSS 11.0。采用单因素方差分析法分析同一层不同地貌部位生物结皮中微生物数量之间的差异 ( $\alpha=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤微生物数量变化

**2.1.1 土壤微生物总量的变化** 不同地貌部位微生物总数变化具有一定的差异, 结皮层微生物总数由大到小依次是丘间地、背风坡、迎风坡和丘顶 (图 2a)。对不同地貌部位结皮层微生物总数差异的单因素方差分析表明, 除迎风坡与背风坡、迎风坡与丘顶结皮层微生物总数差异不显著外, 不同地貌部位该层微生物总数差异均显著。不同地貌部位结皮下层 0~5 cm 处微生物总数变化与结皮层微生物总数变化有所不同, 其数量由大到小依次是迎风坡、丘间地、背风坡和丘顶, 除丘间地和背风坡微生物总数差异不显著外, 其他各地貌部位该层微生物总数差异

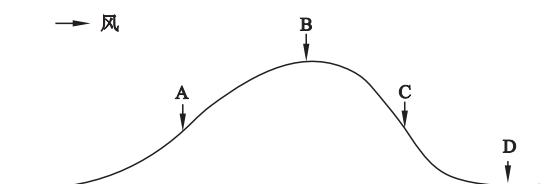


图 1 采样点布设示意图

Fig. 1 Locations of samples in sand dune

A: 迎风坡; B: 丘顶; C: 背风坡; D: 丘间地。

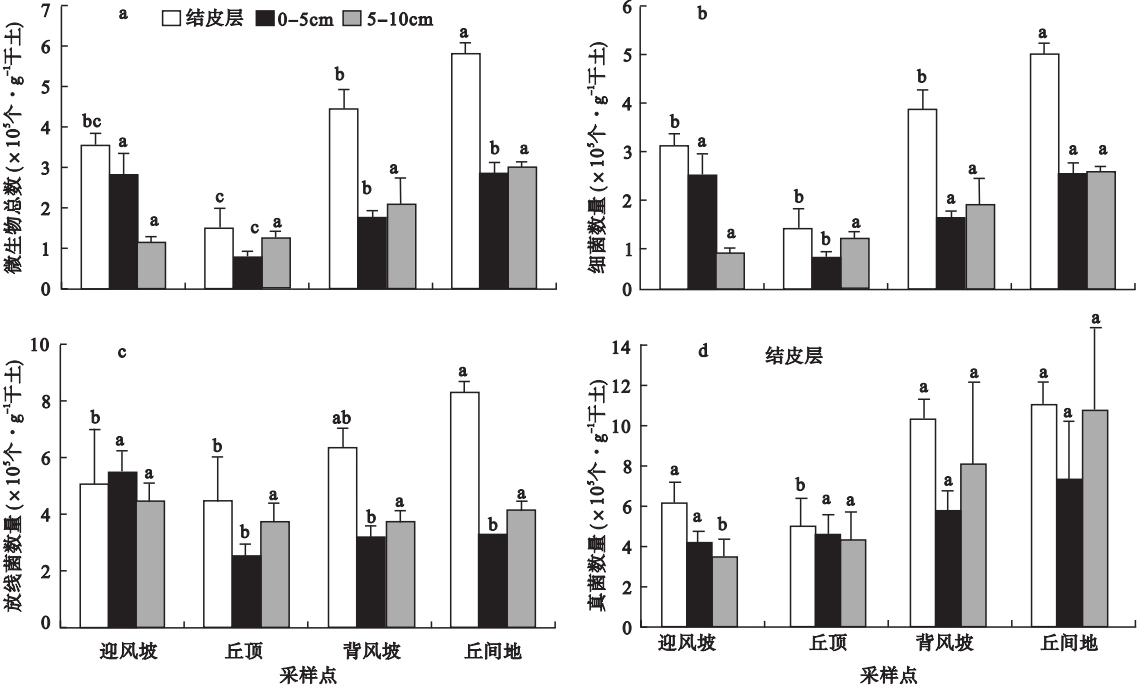


图 2 毛乌素沙地南缘不同地貌部位生物结皮中微生物总数 (a)、细菌 (b)、放线菌 (c) 及真菌 (d) 数量  
Fig. 2 Number of total microorganism (a), bacteria (b), actinomycetes (c) and fungi (d) at different location of sand dune in southern Mu Us sandy land  
同一层不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

均显著。不同地貌部位结皮下层 5 ~ 10 cm 处微生物总数由大到小依次是丘间地、背风坡、丘顶和迎风坡,不同地貌部位该层微生物总数之间差异不显著。

沙丘同一地貌部位结皮及下层 0 ~ 5 和 5 ~ 10 cm 处微生物总数垂直分布具有变化 (图 2a),微生物总量在此剖面中的垂直变化趋势为:除迎风坡微生物总数随剖面的加深呈递减外,其余各地貌部位微生物总数均呈先减少、后增加的趋势。

**2.1.2 细菌数量变化** 不同地貌部位细菌数量具有差异 (图 2b),不同地貌部位结皮层细菌数量由大到小依次是丘间地、背风坡、迎风坡和丘顶,丘间地结皮层细菌数量与其他各地貌部位结皮层细菌数量间差异显著。不同地貌部位结皮下层 0 ~ 5 cm 土样细菌数量由大到小依次是丘间地、迎风坡、背风坡和丘顶。丘顶该层细菌数量与其他各地貌部位细菌数量差异显著。不同地貌部位结皮下层 5 ~ 10 cm 处细菌数量由大到小依次为丘间地、背风坡、丘顶和迎风坡,不同地貌部位该层细菌数量之间差异不显著。

沙丘不同地貌部位结皮层及下层 0 ~ 5 和 5 ~ 10 cm 处细菌数量垂直分布变化明显 (图 2b)。其数量在此剖面中的垂直变化趋势与微生物总数的垂直变化规律类似,除迎风坡细菌数量随剖面的加深

呈递减外,其余各地貌部位细菌数量呈先递减,后增加的趋势。

**2.1.3 放线菌数量变化** 不同地貌部位放线菌数量具有一定的差异 (图 2c),不同地貌部位结皮层放线菌数量由大到小依次为丘间地、背风坡、迎风坡和丘顶,丘间地结皮层放线菌数量与迎风坡和丘顶放线菌数量差异显著。不同地貌部位结皮下层 0 ~ 5 cm 土样放线菌数量变化由大到小依次为迎风坡、丘间地、背风坡和丘顶,迎风坡该层放线菌数量与其他各地貌部位同层放线菌数量间差异显著。不同地貌部位结皮下层 5 ~ 10 cm 土样放线菌数量变化趋势与结皮下层 0 ~ 5 cm 土样放线菌数量的变化趋势一致,但不同地貌部位该层放线菌数量间差异不显著。

沙丘不同地貌部位结皮及下层 0 ~ 5 和 5 ~ 10 cm 处放线菌数量垂直分布有显著变化 (图 2c),其变化规律为:除迎风坡放线菌数量随剖面的加深呈先增长、后递减的趋势外,其余各地貌部位放线菌数量均呈先递减,后增加的趋势。

**2.1.4 真菌数量变化** 不同地貌部位真菌数量具有差异 (图 2d),不同地貌部位结皮层真菌数量由大到小依次是丘间地、背风坡、迎风坡和丘顶,丘顶结

皮层真菌数量与其他各地貌部位同层真菌数量之间差异显著。不同地貌部位结皮下层 0~5 cm 处真菌数量变化趋势与结皮层真菌数量变化规律趋于一致,不同地貌部位该层真菌数量差异不显著。不同地貌部位结皮下层 5~10 cm 土样真菌数量变化由大到小依次是丘间地、背风坡、丘顶和迎风坡,迎风坡该层真菌数量与其他各地貌部位同层真菌数量之间差异显著。

沙丘不同部位结皮及下层 0~5 和 5~10 cm 处真菌数量垂直分布具有一定的变化规律(图 2d)。丘顶和迎风坡真菌数量随剖面的加深呈递减,而背风坡和丘间地真菌数量呈先递减,后增加的趋势。

## 2.2 微生物组成比例

由图 3 可见,研究区微生物组成中细菌的比例最大,约占微生物总数的 61%~86%,放线菌次之,约占微生物总数的 12%~37%,真菌的比例最小,仅占 1%~5%。结皮层中细菌所占微生物总数的百分比从迎风坡到丘间地呈先减少,后增加的趋势,放线菌和真菌所占微生物总数的百分比则相反,从迎风坡到丘间地呈先增加,后降低的趋势。结皮下层 0~5 cm 处细菌所占微生物总数的百分比从迎风坡到丘间地呈先减少后增加的趋势,放线菌所占微生物总数的百分比呈先增加后减少的趋势,真菌所占微生物总数的百分比呈先增加,后降低的趋势。结皮下层 5~10 cm 处细菌所占微生物总数的百分比从迎风坡到丘间地呈增加的趋势,放线菌则与细菌的变化趋势相反,呈减少。真菌所占微生物总数的百分比则无明显的变化。

微生物主要类群的组分表现为细菌占绝对的优势,放线菌次之,真菌在微生物总数中的比例最小。在丘间地和背风坡细菌所占微生物总数比例相对丘顶有所增加,而放线菌和真菌所占比例相应有所减少(图 3)。

## 2.3 样品含水量的变化

受结皮发育程度、沙物质的机械组成和植物分布等的影响,不同地貌部位各样品含水量变化较大(图 4)。样品含水量总体上呈丘间地较高,丘顶较低的特点。同一地貌部位样品含水量在结皮层、结皮下层 0~5 和 5~10 cm 的垂直变化由小到大依次是结皮层、结皮下层 0~5 和 5~10 cm,即其含水量随剖面的加深呈增加的趋势。

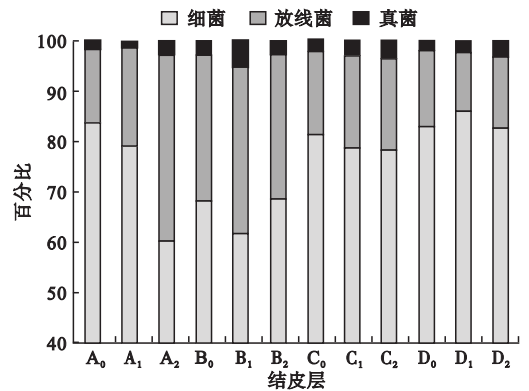


图3 不同地貌部位和剖面微生物主要类群的组成

Fig. 3 Composition of soil microorganisms in different layers and locations of sand dunes

A<sub>0</sub>:迎风坡结皮层;B<sub>1</sub>:迎风坡结皮下层 0~5 cm;B<sub>2</sub>:迎风坡结皮下层 5~10 cm;B<sub>0</sub>:丘顶结皮层;B<sub>1</sub>:丘顶结皮下层 0~5 cm;B<sub>2</sub>:丘顶结皮下层 5~10 cm;C<sub>0</sub>:背风坡结皮层;C<sub>1</sub>:背风坡结皮下层 0~5 cm;C<sub>2</sub>:背风坡结皮下层 5~10 cm;D<sub>0</sub>:丘间地结皮层;D<sub>1</sub>:丘间地结皮下层 0~5 cm;D<sub>2</sub>:丘间地结皮下层 5~10 cm。

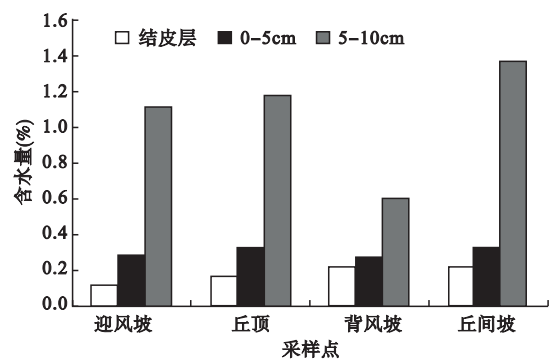


图4 土壤含水量变化

Fig. 4 Change of soil water content

## 3 讨论

微生物群落是生物结皮的重要组成部分和先锋物种(张元明和王雪芹,2008)。生物结皮的广泛发育反过来为微生物生长和繁殖创造了良好的条件,其中的有些组分能通过光合作用合成碳水化合物,增加土壤中的有机质含量(Evans & Lange, 2001; Belnap, 2002),进而影响其中的微生物数量。

微生物总数及主要类群的数量在丘间地普遍高于丘顶(图 2),这与沙丘不同地貌部位生物结皮的发育程度、沙物质的机械组成具有一定的关系(吴楠等,2005)。研究区沙丘类型多以固定和半固定沙丘为主,生物结皮对沙丘不同地貌部位具有较强的选择性分布(张元明等,2004)。丘顶未形成生物结皮或形成了少量的微生物结皮,其厚度一般在 1~2 mm,极易破碎。该结皮不能很好地固结沙层,沙面多处于流动半流动状态,此处微生物一方面易



受风沙活动的干扰,另一方面无充足的养分供其生长。背风坡和迎风坡分布发育程度不同的藻类结皮,迎风坡多以浅灰色的藻结皮为主,背风坡多以黑褐色的藻结皮为主,它不仅能够很好的固定沙丘表面,同时其有些成分能够进行光和作用和生物固氮,增加土壤环境的养分,为该区域的微生物生长提供了便利。丘间地苔藓结皮成片分布或与藻类镶嵌分布,该类结皮厚度和抗剪强度明显增加的同时,其中的苔藓植物能够进行光合作用,为微生物的繁殖和生长提供理想的条件,加上丘间地与丘顶和迎风坡相比受风沙活动的影响更少。因此,微生物总数和主要类群的数量在丘间地比丘顶较高。这与吴楠等(2005)在古尔班通古特沙漠地区的研究基本一致。

生物结皮的发育显著地改变了该区域降雨分布格局,对降雨进行重新分配(李守中等,2005)。除迎风坡微生物各类群数量和丘顶真菌数量以外,其余各地貌部位微生物数量在结皮下层0~5和5~10 cm剖面上随其含水量的增加而增加(图2),说明土壤水分直接影响微生物的数量和分布。这与吴楠等(2005)在古尔班通古特沙漠地区的研究中得出的微生物数量随土壤剖面深度的加深而呈增加趋势的结论基本一致。结皮层微生物数量比结皮下层0~5 cm处微生物数量要高,结皮层水分含量却比其下层含水量要低,呈微生物数量和样品含水量的变化趋势并不同步的特点(图2和图4),这与结皮层凝结水的形成具有密切的关系。凝结水在干旱半干旱区土壤水分补给和植物生长均产生重要的影响(张晓影等,2008)。生物结皮对凝结水形成的贡献显著大于裸沙,且随生物结皮发育程度的增加而增加(Liu *et al.*, 2006)。它是该区域隐花植物、昆虫和微小生物水分的重要来源(李新荣等,2009),微量的凝结水使结皮中的生物成分能够保持其生物学活性(Kidron *et al.*, 2002),从而间接地影响了微生物繁殖和分布。丘顶往往以裸沙或微生物结皮为主,在背风坡、迎风坡和丘间地藻类和苔藓结皮得到良好的发育,相对较高的水分和丰富的养分含量使丘间地结皮层微生物数量较高。

除土壤水分之外,土壤机械组成、理化性质以及有机质含量等可能均对微生物数量产生重要影响。吴楠等(2005)在我国古尔班通古特沙漠地区的研究中发现,微生物数量的垂直分布与剖面有机质含量密切相关。在以后的研究中,应加以分析这些因素对微生物数量分布产生的影响。

#### 参考文献

陈祝春,李定淑. 1987. 固沙植物根基微生物对于沙土发育和流沙固定的影响. 生态学杂志, **6**(2): 6-12.  
哈 斯, 庄燕美, 王 蕾, 等. 2006. 毛乌素沙地南缘横向沙丘粒度分布及其对风向变化的响应. 地理科学进展,

- 25**(6): 42-52.  
李守中, 肖洪浪, 罗 芳, 等. 2005. 沙坡头植被固沙区生物结皮对土壤水文过程的调控作用. 中国沙漠, **25**(2): 228-234.  
李新荣, 张元明, 赵允格. 2009. 生物土壤结皮研究: 进展、前沿与展望. 地球科学进展, **24**(1): 11-24.  
邵玉琴, 赵 吉, 包青海. 2001. 库布齐固定沙丘土壤微生物生物量的垂直分布研究. 中国沙漠, **21**(1): 88-93.  
邵玉琴, 赵 吉. 2004. 不同固沙区结皮中微生物生物量和数量的比较研究. 中国沙漠, **24**(1): 68-72.  
沈 萍, 范秀容, 李广武. 2001. 微生物学实验. 北京: 高等教育出版社.  
吴 楠, 潘伯荣, 张元明, 等. 2005. 古尔班通古特沙漠生物结皮中土壤微生物垂直分布特征. 应用与环境生物学报, **11**(3): 349-353.  
吴 楠, 潘伯荣, 张元明. 2004. 土壤微生物在生物结皮形成中的作用及生态意义. 干旱区研究, **21**(4): 444-450.  
张晓影, 李小雁, 王 卫, 等. 2008. 乌素沙地南缘凝结水观测实验分析. 干旱气象, **26**(3): 8-13.  
张元明, 潘惠霞, 潘伯荣, 等. 2004. 古尔班通古特沙漠不同地貌部位生物结皮的选择性分布. 水土保持学报, **14**(4): 61-65.  
张元明, 王雪芹. 2008. 准格尔荒漠生物结皮研究. 北京: 科学出版社: 85-106.  
Belnap J. 2002. Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. *Biology and Fertility of Soils*, **35**: 128-135.  
Belnap J, Hawkes CV, Firestone MK. 2003. Boundaries in miniature: Two examples from soil. *Bioscience*, **53**: 739-749.  
Eldridge DJ, Leys JF. 2003. Exploring some relationships between biological soil crusts, soil aggregation and wind erosion. *Journal of Arid Environments*, **53**: 457-466.  
Evans RD, Lange OL. 2001. Biological soil crusts and ecosystem N and C dynamics// Belnap J, Lange O, eds. *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*. Berlin: Springer: 263-279.  
Green LE, Porras-Alfaro A, Sinsabaugh RL. 2008. Translocation of nitrogen and carbon integrate biotic crust and grass production in desert grassland. *Journal of Ecology*, **96**: 1076-1085.  
Guo YR, Zhao HL, Zuo XA, *et al.* 2008. Biological soil crust development and its topsoil properties in the process of dune stabilization, Inner Mongolia, China. *Environmental Geology*, **54**: 653-662.  
Kidron GJ. 2007. Millimeter-scale microrelief affecting runoff yield over microbiotic crust in the Negev Desert. *Catena*, **70**: 266-273.  
Kidron GJ, Herrnstadt I, Barzilay E. 2002. The role of dew as a moisture source for sand microbiotic crusts in the Negev Desert, Israel. *Journal of Arid Environments*, **52**: 517-533.  
Liu LC, Li SZ, Duan ZH, *et al.* 2006. Effects of microbiotic crusts on dew deposition in the restored vegetation area at Shapotou, northwest China. *Journal of Hydrology*, **328**: 331-337.  
Viles HA. 2008. Understanding dryland landscape dynamics: Do biological crusts hold the key? *Geography Compass*, **2/3**: 899-919.  
Wang XP, Li XR, Xiao HL, *et al.* 2007. Effects of surface characteristics on infiltration patterns in an arid shrub desert. *Hydrological Processes*, **21**: 72-79.  
Zhang Z, Dong Z, Zhao A, *et al.* 2008a. The effect of restored microbiotic crusts on erosion of soil from a desert area in China. *Journal of Arid Environments*, **72**: 710-721.  
Zhang ZS, Liu LC, Li XR, *et al.* 2008b. Evaporation properties of a revegetated area of the Tengger Desert, North China. *Journal of Arid Environments*, **72**: 964-973.

作者简介 吴永胜,男,1982年生,博士研究生,主要从事荒漠化防止和微生物生态学研究. E-mail: yswuwork@126.com  
责任编辑 魏中青

