

沙漠人工植被区生物结皮类土壤的蒸发特性*

——以沙坡头沙漠研究试验站为例

张志山 何明珠 谭会娟 陈应武 潘颜霞

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠试验研究站, 兰州 730000)

摘要 沙漠人工植被区的建立有助于生物结皮的形成和发育, 它将显著改变植被区土壤的持水性能和蒸发过程。利用室内蒸发法研究了流沙和沙漠植被区生物结皮类土壤的蒸发特性。结果表明, 随固沙年限的延长生物结皮层及其下的亚土层逐年增厚、容重下降、土壤持水能力增加, 且苔藓结皮优于藻类结皮。当土壤样品完全饱和后, 生物结皮土壤的蒸发量明显高于流沙, 苔藓结皮高于藻类结皮, 并随固沙年限的延长而增加; 但是蒸发过程表现出明显的阶段性($p < 0.05$)。在蒸发的第一阶段(速率稳定阶段), 与流沙相比生物结皮的存在有利于蒸发; 但在蒸发的第二阶段(速率下降阶段)生物结皮却抑制蒸发。分析后认为, 正是生物结皮具有较高的持水能力, 在蒸发的第一阶段增加了水分被蒸发的可能性; 当土壤干旱时, 结皮可以将水分束缚在土壤中从而抑制了蒸发。

关键词 沙漠人工植被区; 生物结皮; 土壤持水性能; 蒸发

中图分类号 P931.3; P332.2

文献标识码 A

生物结皮, 或称微生物结皮、生物土壤结皮、隐花植物结皮、藻结皮或藻壳, 广泛分布于干旱半干旱地区^[1~10]。在我国沙漠地区, 流动沙丘一旦被人工栽植植物固定 4~5 a 后, 菌类、藻类和苔藓类等微生物逐渐侵入植被区^[7~14], 与原始的物理结皮结合, 在生物因素和非生物因素(降尘和雨滴等)的共同作用下在沙丘表面形成微生物结皮^[2, 7~9], 结皮及其下的亚土层逐年增厚^[8~14]。微生物结皮的形成和发育, 增强了沙丘表面对风蚀和水蚀的抵抗, 增加了土壤养分, 改变了降水的入渗及水分的再分配过程, 影响到植被的演替^[4~19]。近年来, 有关生物结皮对生态水文过程的研究主要关注于对降水的拦截作用及水分分配的浅层化而造成灌木种在系统中的退化等方面^[15~19], 而对土壤蒸发的影响只停留在定性认识阶段。Johansen^[3]凭经验认为, 微生物结皮的产生有利于蒸发, 是因为微生物结皮的颜色较深从而容易吸收太阳辐射; Behar 和 Lange^[1]研究发现将深色的生物结皮践踏破坏后, 下层的浅色土壤出露会提高地表反射率并由此引起地表能量损失和土壤温度降低, 这从反面证实生物结皮有助于增加地表能量而导致蒸发的增加; 另有研究认为, 由于生

物结皮具有较大的持水能力, 能够较长时间地把水分维持在地表上, 从而使水分不易被维管束植物利用, 这就提高了水分被蒸发的可能性^[5, 13]。但也有相反的观点认为, 生物结皮封闭了土壤表面而降低了蒸发^[19]。由此而知, 对生物结皮影响土壤蒸发的认识还处于感性阶段, 导致了完全相反观点的出现, 只有对它进行深入研究才能揭示其机理; 因而, 本研究利用室内蒸发法研究了流沙和不同年代建植的植被区生物结皮类土壤的蒸发特性。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2004 年在中国科学院沙坡头沙漠研究试验站(简称沙坡头站)进行。沙坡头站位于腾格里沙漠东南缘(37°27' E, 104°57' N), 海拔 1 250 m, 处在阿拉善高原荒漠与荒漠草原过渡地带, 属草原化荒漠, 天然植被以花棒(*Hedysarum scoparium*)和沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等为主, 盖度 1% 左右。本区格状沙丘由西北向东南倾斜, 呈阶梯状分布; 沙丘主梁呈新月型沙丘链形态, 走向为西北—东南方向,

* 国家自然科学基金项目(40501004 和 90202015)资助

作者简介: 张志山(1974~), 男, 甘肃古浪人, 博士, 助理研究员, 主要从事干旱区生态的研究。E-mail: zhangzhsh2002@yahoo.com.cn

com.cn

收稿日期: 2005-12-31; 收到修改稿日期: 2006-04-17

相对高差 15~20 m。本区年平均气温 9.6℃, 最高气温 38.1℃, 最低气温为 -25.1℃, 冬夏昼夜温差大; 年平均降雨量为 186.2 mm, 一年内的雨量分布很不均匀, 主要集中在 7~9 月; 空气平均相对湿度为 40%, 最低可到 10%, 春季尤其干燥; 该地区的年平均风速为 2.8 m s^{-1} , 最大风速为 19 m s^{-1} , 大于 5 m s^{-1} 的起沙风每年有 200d 左右。土壤以细粒沙为主, 地下水埋藏很深, 不能为植物所利用, 沙丘的持水力很弱^[7-9]。

为了确保包兰铁路沙坡头段的畅通无阻, 自 1956 年起中国科学院和有关单位建立了“以固为主, 固阻结合”的防护体系, 在流沙上扎设 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的麦草方格沙障作为固沙屏障, 将沙面稳定后再栽植固沙植物, 在沙坡头地段建立了铁路北侧宽 500 m、南侧宽 200 m 的植物固沙带, 该防护体系长 16 km。植物种除了人工种植的灌木柠条 (*Caragana korshinskii*)、花棒、中间锦鸡儿 (*Caragana intermedia*)、籽蒿 (*Artemisia sphaerocephala*)、油蒿 (*Artemisia ordosica*) 外, 有天然繁衍的小画眉草 (*Eragrostis poaeoides*)、雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、刺沙蓬 (*Salsola ruthenica*)、虎尾草 (*Chloris virgata*)、三芒草 (*Aristida adscensionis*)、虫实 (*Corispermum declinatum*) 和油蒿等。由于大量物种的繁殖和定居, 使原有的流沙演变成了一个复杂的人工天然荒漠植被混合体^[7,8,15]。

人工固沙植被建立后, 沙丘表面物理结构初步得到稳定, 并由大气降尘形成的无机土壤结皮逐渐演变成土壤微生物结皮。荒漠藻类、苔藓和地衣等隐花植物在结皮层中得到了大量的繁衍, 固沙植被建立 46 a 后出现藻类 24 种, 以蓝藻 (Cyanobacteria) 为主; 苔藓 5 种, 优势种真鲜 (*Bynum argenteum*) 占总盖度的 90% 以上; 此外, 地衣也在植被区发现, 说明固定沙丘景观逐渐趋于稳定的状态^[8,9]。随固沙时间的增加, 土壤微生物结皮及表土层厚度增加, 土壤基质、土壤理化性质及养分状况得到了改善。与流动沙丘相比, 固沙植被建立后对增加土壤粒度组成中粉粒和粘粒含量是明显的。固沙植被发展 46 a 后土壤有机质的含量从原来流沙中的 0.6 g kg^{-1} 增加到 13.4 g kg^{-1} ; 土壤表层中 (0~20 cm) 的 N、 P_2O_5 和 K_2O 的含量由原来流沙中的 1.7 g kg^{-1} 、 1.1 g kg^{-1} 和 9.1 g kg^{-1} 分别增加到 10.2 g kg^{-1} 、 15.9 g kg^{-1} 和 17.6 g kg^{-1} ; 全盐含量由 0.4 g kg^{-1} 增加到 1.2 g kg^{-1} ; pH 值从 7.44 增加到 7.99。

1.2 研究方法

本研究用内径 100 mm、高 80 mm 的 PVC 管取样, 用室内蒸发法研究了流沙、1956 年和 1964 年建植的植被区苔藓和藻类结皮土壤的蒸发特性, 共 5 种土壤类型。在研究区选择一平坦地, 灌水浸泡 24 h 后取样。将 PVC 管套上不锈钢环刀, 将环刀连同 PVC 管一同压入土壤至表面刚好与其上口齐平, 取出土壤样品后削平 PVC 管下口; 同时, 用游标卡尺测量生物结皮厚度及亚土层厚度, 至少重复 10 次。样品带回实验室后用水浸泡 24 h, 浸泡时逐渐加水至 PVC 样品室上端; 然后盖住上端, 放在架子上沥去多余的水分, 共 48 h; 然后, 用 PVC 盖子封住下口开始试验。同步用同样口径的 PVC 管盛水观测水面蒸发。PVC 管中的土壤样品和水分每天用精度 0.01 g 的电子天平称重 3 次, 分别在 8:00、14:00 和 20:00 称重。当土壤样品出现凝结水时终止试验, 将土壤样品装入铝盒称重, 然后在 105℃ 下烘干 12 h 称干重, 计算出试验结束时的含水量。

1.3 数据处理

土壤样品的生物结皮厚度和土壤厚度数据计算平均值和标准差。为便于比较分析, 定义土壤蒸发速率对水面蒸发速率的比率为参数 K 。用 Origin 7.0 (OriginLab Corporation, USA) 处理数据及绘图。

2 结果与分析

2.1 土壤基本属性

沙漠植被区生物结皮的形成与建植年代和部位关系密切。一般而言, 建植年代越长生物结皮和亚土层越厚; 苔藓结皮主要发育在迎风坡和丘间低地, 而藻类结皮则发育在背风坡和丘顶, 苔藓结皮及其土层厚度比藻类结皮的要厚。相应的, 植被区的土壤容重均小于流沙的, 苔藓结皮的稍小于藻类结皮的。受此影响, 流沙的饱和含水量明显小于生物结皮土壤, 藻类结皮的小于苔藓结皮的; 相反, 剩余含水量则是流沙的大于生物结皮土壤的 (表 1)。

2.2 样品的蒸发过程

土壤样品和同步的水面蒸发绘制于图 1, 由图可知: 在蒸发的前期, 水面蒸发速率和土壤蒸发速率几乎没有差别; 12 d 以后, 土壤蒸发速率逐渐降低, 越来越低于水面蒸发速率; 20 d 后, 土壤蒸发速率几乎接近于 0, 晚上土壤样品出现凝结水, 重量稍有回升, 但此时白天仍有蒸发。

表1 土壤样品的基本属性

Table 1 Basic properties of the soil samples

日期 Date (mm dd)	类型 Type	部位 Location	结皮厚度 Depth of crust (cm)	土层厚度 Depth of soil (cm)	容重 Bulk density ($g \cdot cm^{-3}$)	饱和含水量 Saturated water content ($cm^3 \cdot cm^{-3}$)	剩余含水量 Residual water content ($cm^3 \cdot cm^{-3}$)
04 20	流沙 Sand	迎风坡 Windward	—	—	1.59	0.333	0.018
05 08	56 苔藓 Moss 56	迎风坡 Windward	0.59±0.11	3.10±0.89	1.43	0.370	0.010
06 10	56 藻类 Algae 56	丘顶 Crest	0.39±0.12	3.01±2.64	1.45	0.362	0.007
07 02	64 苔藓 Moss 64	迎风坡 Windward	0.92±0.31	2.97±0.23	1.41	0.382	0.016
08 06	64 藻类 Algae 64	背风坡 Leeward	0.35±0.13	1.97±0.50	1.45	0.355	0.010

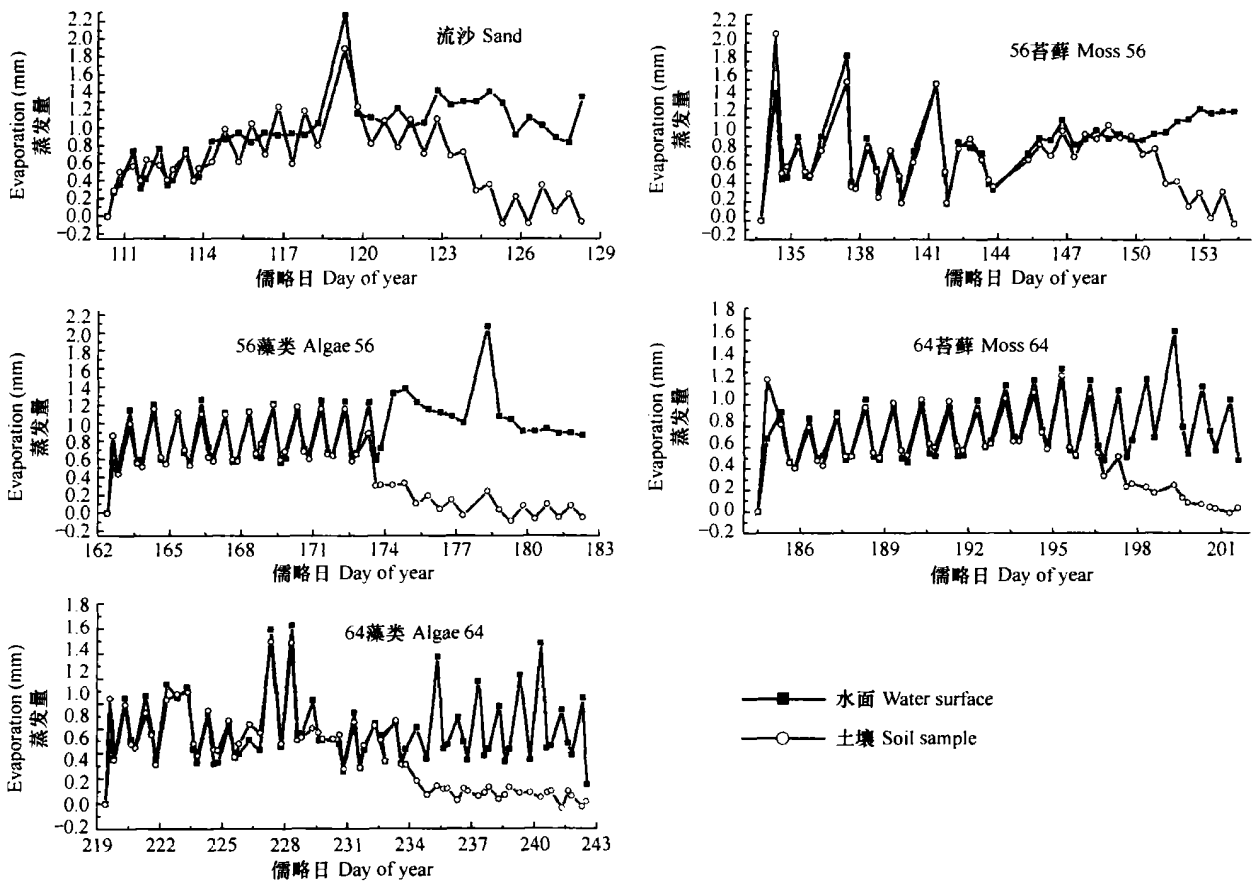


图1 土壤样品和水面蒸发过程

Fig. 1 Evaporation process of soil and water surface

为消除气象因素对蒸发的影响,定义参数 K 为土壤蒸发速率对水面蒸发速率的比值,然后以水面累积蒸发量为横坐标、 K 值为纵坐标绘图,接着用 S 曲线(Sigmoidal curve)拟合(图 2),由图可知:用 K 值能够详细的反应土壤的蒸发过程,可以将其明显的分为 3 个阶段:速率稳定阶段、速率下降阶段和水汽扩散阶段,且表现为反“S”型的下降趋势。将 S 曲线

的拟合参数列于表 2,由表可知:拟合的 S 曲线均达到显著水平($p < 0.05$),决定系数 R^2 在 0.8 以上。在蒸发的 3 个阶段,各土壤样品持续的时间不一样;当水面蒸发量为 20.1、26.8、25.6、25.8 和 22.8 mm 时,流沙、56 苔藓结皮土壤、56 藻类结皮土壤、64 苔藓结皮土壤和 64 藻类结皮土壤的蒸发的第一阶段(速率稳定阶段)结束,说明流沙的维持蒸发的第一阶段

的时间最短、藻类结皮土壤的次之、苔藓结皮土壤的最长, 并随固沙年限而增加; 当水面蒸发量为 30.1、29.2、29.4、29.7 和 24.5 mm 时, 流沙、56 苔藓结皮土壤、56 藻类结皮土壤、64 苔藓结皮土壤和 64 藻类结

皮土壤结束蒸发的第二阶段(速率下降阶段)并开始第三阶段(水汽扩散阶段), 此时, 流沙经历的时间最长、64 藻类结皮土壤的最短、其余居中且没有明显地差别。

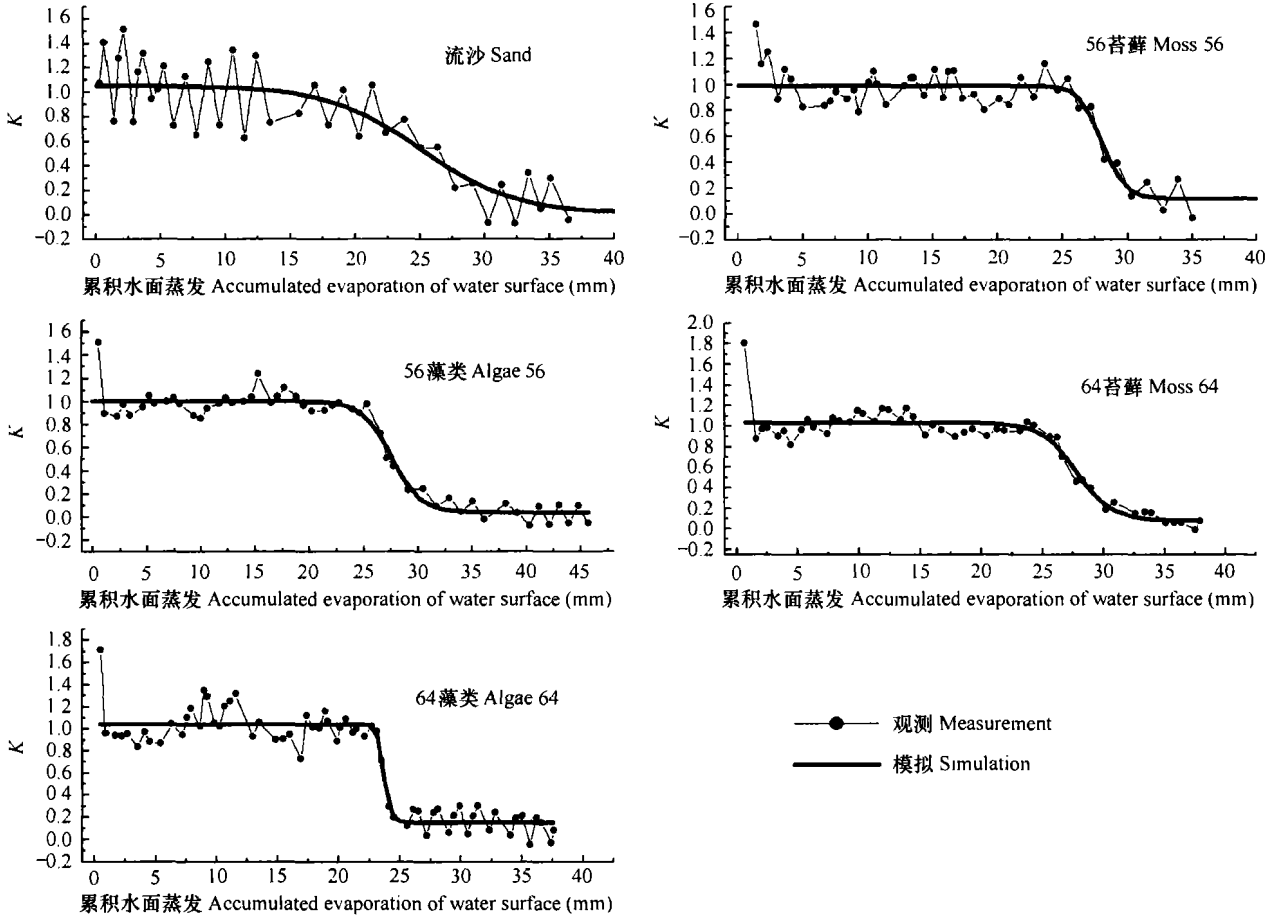


图2 实测和拟合的 K 值

Fig.2 Observed and simulated parameter K

2.3 不同阶段的蒸发特性

借助参数 K 将蒸发过程分为 3 个阶段, 将 3 个阶段的水面蒸发量、样品蒸发量和 K 值列于表 3, 由于试验时间长短不一, 以水面累积蒸发量为 35.0 mm 时终止计算, 由表可知: 在速率稳定阶段, 参数 K 在 1 左右, 标准差均低于 0.27, 表明此阶段土壤样品有稳定的蒸发速率; 值得注意的是, 在本阶段生物结皮土壤的蒸发量明显高于流沙的, 且苔藓结皮的高于藻类结皮的; 水面蒸发量也有一致的趋势。在蒸发的第二阶段, 参数 K 迅速下降(图 2), 表现为较小的 K 值(0.5 左右)和较高的标准差(在

0.20~ 0.36 之间); 结皮土壤的蒸发量明显低于流沙的, 并且远低于第一阶段的蒸发量; 水面蒸发量也表现出一样的变化趋势。而在水汽扩散阶段, 参数 K 的值(小于 0.18)和标准差均达到最小; 流沙和结皮土壤的蒸发量低于第二阶段的, 结皮土壤的水面蒸发量也低于第二阶段的。当水面总蒸发量为 35.0 mm 时, 流沙、56 苔藓结皮、56 藻类结皮、64 苔藓结皮和 64 藻类结皮土壤的总蒸发量分别为 24.8、28.1、27.5、28.6 和 25.3 mm, 生物结皮土壤的蒸发量明显高于流沙的, 苔藓结皮的高于藻类结皮的, 并随固沙年限的延长而增加。

表2 S型方程拟合K值的参数¹⁾
Table 2 Fitting parameters of the sigmoidal function

参数 Parameters	流沙 Sand	56苔藓 Moss 56	56藻类 Algae 56	64苔藓 Moss 64	64藻类 Algae 64
P	0.036 5	0.019 9	0.012 0	0.020 2	0.023 2
R ²	0.827 4	0.820 7	0.942 9	0.880 5	0.890 5
中心点 Pivot	25.12	28.05	27.51	27.79	23.66
初值 Initial	20.10	26.83	25.61	25.80	22.80
终值 Final	30.14	29.27	29.41	29.77	24.51

1) 中心点表示S型方程的中心,初值和终值指曲线发生明显变化的开始点和终结点;依据初值和终值时的K值,将蒸发过程分为3个阶段 The pivot stands for the center of the sigmoidal function, *Initial* for the point where *y* value began to change drastically and *Final* for the point where *y* value stopped changing. Based on *K* values of the *Initial* and *Final*, evaporation process is divided into three stages

表3 不同蒸发阶段的蒸发量及K值¹⁾
Table 3 Parameter *K*, and evaporation rates of the three stages

类型 Types	速率稳定阶段 Constant rate stage			速率下降阶段 Falling rate stage			水汽扩散阶段 Diffusion stage			E _{sum}
	E _w	E _s	K	E _w	E _s	K	E _w	E _s	K	
流沙 Sand	19.1	18.3	1.03±0.27	10.0	5.7	0.59±0.27	6.1	0.7	0.13±0.19	24.8
56苔藓 Moss 56	26.3	25.8	0.99±0.14	4.0	1.7	0.45±0.28	4.7	0.6	0.13±0.15	28.1
56藻类 Algae 56	25.3	24.9	1.00±0.12	3.9	1.8	0.48±0.20	6.0	0.8	0.14±0.08	27.5
64苔藓 Moss 64	25.6	25.7	1.02±0.16	3.4	1.9	0.58±0.21	6.1	0.9	0.16±0.06	28.6
64藻类 Algae 64	22.7	22.9	1.04±0.18	2.7	1.5	0.55±0.36	9.5	0.9	0.18±0.10	25.3

1) E_w: 阶段水面蒸发量; E_s: 阶段土样蒸发量; E_{sum}: 总土样蒸发量,总水面蒸发量为35.0 mm。除了K值以外,其余单位均为毫米(mm) E_w stands for evaporation rate of water surface at a certain stage, E_s for evaporation rate of soil at the stage, and E_{sum} for the sum of total soil evaporation, and total water surface evaporation, being 35.0 mm. Except for *K*, all the values use the unit of mm

3 结论与讨论

在流动沙丘上建植植被后,在生物和非生物因素的共同作用下,土壤成土作用明显,生物结皮层及其下的亚土层逐年增厚,土壤理化性质趋于改善^[7~9];由于受部位影响,迎风坡和丘间低地一般形成苔藓结皮,丘顶和背风坡形成藻类结皮。流动沙丘的固定过程,也是浅层土壤的细粒化和养分富集化过程^[19];因而,随建植年代的延长,土壤质地变细、容重下降、饱和含水量和土壤持水能力增加,且苔藓结皮的优于藻类结皮,这些均与前人^[20~22]研究成果一致。

土壤蒸发过程包括3个阶段,本研究将土壤蒸发速率对水面蒸发速率的比率定义为参数*K*,依据

*K*值进行了划分,这与前人研究成果是一致的^[23]。通过室内模拟研究表明,沙漠人工植被区生物结皮的形成和发育影响到土壤蒸发过程,但其影响机理并不是简单的“促进”或“抑制”,而表现出在蒸发的不同阶段有不同的影响机理。在蒸发的第一阶段(即速率稳定阶段),与流沙相比,微生物结皮的植被区土壤有明显高的蒸发力,或许可以用West^[5]和陈荷生等^[13]的观点予以解释,即微生物结皮具有较高的持水能力,从而增加了水分被蒸发的可能性,这在本研究中也得以证实。然而,在蒸发的第二阶段,生物结皮土壤的蒸发量却少于流沙的。笔者认为,正是生物结皮具有较高的持水能力,当土壤含水量减少时,结皮可以把水分束缚在土壤中(即结皮在含水量低时有更高的吸力),其他研究认为生物结皮的极大吸湿水和凋萎湿度明显高于流沙的,并且呈固沙

年限越长越高的趋势^[16], 从而说明在干旱时微生物结皮封闭了土壤表面, 降低了蒸发^[20]。

受土壤蒸发阶段性的影响, 当水面总蒸发量为 35.0 mm 时, 流沙、56 苔藓结皮、56 藻类结皮、64 苔藓结皮和 64 藻类结皮土壤的总蒸发量分别为 24.8、28.1、27.5、28.6 和 25.3 mm, 生物结皮土壤的蒸发量明显高于流沙的, 苔藓结皮的高于藻类结皮的, 并随固沙年限的延长而增加。

参考文献

- [1] Belnap J, Lange O L. eds. *Biological Soil Crusts: Structure, Function and Management*. Heidelberg: Springer, 2003
- [2] Eldridge D J. Cryptogam cover and soil surface condition: Effects on hydrology on a semiarid woodland soil. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1993, 7: 203~ 217
- [3] Johansen J R. Cryptogamic crusts of semiarid and arid lands of North America. *J. Phycol.*, 1993, 29: 140~ 147
- [4] 胡春香, 刘永定. 土壤藻生物量及其在荒漠结皮的影响因子. *生态学报*, 2003, 23(2): 284~ 290. Hu C X, Liu Y D. Soil algal biomass and its influential factors in desert soil crusts (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 284~ 290
- [5] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi arid regions. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20: 179~ 223
- [6] 杨晓晖, 张克斌, 赵云杰. 生物土壤结皮——荒漠化地区研究的热点问题. *生态学报*, 2001, 21(3): 474~ 480. Yang X H, Zhang K B, Zhao Y J. Microbiotic soil crust—A research forefront in desertification prone areas (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(3): 474~ 480
- [7] Li X R, Zhang J G, Wang X P, *et al.* Study on microbiotic crust and its influences on sand fixing vegetation in arid desert region. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(9): 965~ 970
- [8] Li X R, Zhou H Y, Wang X P, *et al.* The effects of sand stabilization and revegetation on cryptogam species diversity and soil fertility in the Tengger Desert, Northern China. *Plant and Soil*, 2003, 251: 237~ 245
- [9] Li X R, Xiao H L, Zhang J G, *et al.* Long term ecosystem effect of sand binding vegetation in the Tengger Desert, North China. *Restoration Ecology*, 2004, 12(3): 376~ 290
- [10] Liu B R, Jia G M, Chen J, *et al.* A review of methods for studying microbial diversity in soils. *Pedosphere*, 2006, 16(1): 18~ 24
- [11] 张宪武, 许光辉. 腾格里沙漠地区沙地土壤微生物学特性的研究. *土壤学报*, 1962, 10(3): 227~ 234. Zhang X W, Xu G H. Studies on the microbiological properties of the sand dunes in Tengger desert of Ningxia Hui Autonomous Region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1962, 10(3): 227~ 234
- [12] 陈祝春, 张继贤, 李定淑, 等. 腾格里沙漠东南缘不同类型沙丘的微生物学特征. *中国沙漠*, 1983, 3(1): 20~ 26. Chen Z C, Zhang J X, Li D S, *et al.* The microbiological characteristics in various types of sand dunes in southeast Tengger Desert (In Chinese). *J. Desert Research*, 1983, 3(1): 20~ 26
- [13] 陈荷生. 沙坡头地区生物结皮的水文物理特点及环境意义. *干旱区研究*, 1992, 9(1): 31~ 38. Chen H S. The characteristics of biological crust and its environmental significance in Shapotou region (In Chinese). *Arid Zone Research*, 1992, 9(1): 31~ 38
- [14] 凌裕泉, 屈建军, 胡玫. 沙面结皮形成与微环境变化. *应用生态学报*, 1993, 4(4): 393~ 398. Ling Y Q, Qu J J, Hu M. Formation of sand surface crust and micro environmental changes (In Chinese). *J. Applied Ecology*, 1993, 4(4): 393~ 398
- [15] Zhang J G, Li X R, Wang X P, *et al.* Ecological adaptation strategies of annual plants in artificial vegetation stabilized sand dune in Shapotou. *Science in China Ser. D Earth Sciences*, 2004, 47(Supp 1): 50~ 60
- [16] 肖洪浪, 李新荣, 段争虎, 等. 流沙固定过程中土壤-植被系统演变对水环境的影响. *土壤学报*, 2003, 40(6): 809~ 814. Xiao H L, Li X R, Duan Z H, *et al.* Impact of evolution of plant soil system on the water environment during the mobile dunes stabilization (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(6): 809~ 814
- [17] Li X R, Ma F Y, Xiao H L, *et al.* Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57: 1~ 16
- [18] 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. *中国沙漠*, 2004, 24(4): 500~ 506. Li S Z, Xiao H L, Li X R, *et al.* advance in research about influence of microbiotic crust on soil hydrological process in semiarid & arid zones (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2004, 24(4): 500~ 506
- [19] 王新平, 李新荣, 肖洪浪, 等. 干旱半干旱地区人工固沙灌木林生态系统演变特征. *生态学报*, 2005, 25(8): 1974~ 1980. Wang X P, Li X R, Xiao H L, *et al.* Evolution characteristics of the artificially revegetated shrub ecosystem of arid and semi arid sand dune area (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 1974~ 1980
- [20] Brotherson J D, Rushforth S R. Influence of cryptogamic crusts on moisture relationships of soils in Navajo National Monument. *Great Basin Naturalist*, 1983, 43: 73~ 78
- [21] 刘立超, 李守中, 宋耀选, 等. 沙坡头人工植被区微生物结皮对地表蒸发影响的试验研究. *中国沙漠*, 2005, 25(2): 191~ 195. Liu L C, Li S Z, Song Y X, *et al.* Effect of microbiotic crust on evaporation process in vegetated area in Shapotou region (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2005, 25(2): 191~ 195
- [22] 何明珠, 李新荣, 张景光, 等. 土壤生物结皮蒸散特征研究. *中国沙漠*, 2006, 26(2): 159~ 164. He M Z, Li X R, Zhang J G, *et al.* Evapotranspiration characteristics of soil microbiotic crusts (In Chinese). *Journal of Desert Research*, 2006, 26(2): 159~ 164
- [23] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. *土壤水动力学*. 北京: 清华大学出版社, 1988. Lei Z D, Yang S X, Xie C S. *Soil Water Dynamics* (In Chinese). Beijing: Qinghua University Press, 1988

**EVAPORATION FROM SOILS COVERED WITH BIOLOGICAL CRUSTS IN
REVEGETATED DESERT**
—A CASE STUDY IN SHAPOTOU DESERT RESEARCH AND EXPERIMENT STATION

Zhang Zhishan He Mingzhu Tan Huijuan Chen Yingwu Pan Yanxia

*(Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold & Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)*

Abstract Development of biological crusts resulting from establishment of artificial vegetation in the desert will significantly change water holding capacity and evaporation process of the soil. An indoor evaporation method was used to study evaporation characteristics of the soils covered with or without biological crusts. Results show that the longer the history of sand dune fixation, the thicker the biological crusts and the subsoil layer below them, the lower its bulk density, and the higher the soil water holding capacity; which was more significant with moss crust covered soil than algae crust covered. And so was it in terms of soil evaporation rate after the soils were saturated with water. The process of evaporation, however, could be clearly divided into three stages ($p < 0.05$). In the first stage (constant in evaporation rate), biological crusts contributed to evaporation, but in the second stage (declining in evaporation rate), they inhibited evaporation. Based on analysis, it is held that it is the higher water holding capacity of the biologic crusts that enhance the possibility of soil water evaporation at the first stage, and inhibit evaporation by holding water in the soil when the soil gets dried up.

Key words Revegetated desert; Biological crusts; Soil water holding capacity; Evaporation