

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第14期 Vol.31 No.14 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第14期 2011年7月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性.....	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化.....	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例.....	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法.....	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化.....	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型.....	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位.....	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响.....	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征.....	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布.....	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用.....	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
铜在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系.....	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氨挥发的影响.....	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素.....	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响.....	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响.....	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选.....	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式.....	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上半干旱区南瓜油葵间作的水分效应.....	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优化选择方法	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素.....	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子.....	张吉忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测.....	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态.....	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例.....	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

王雪芹,张元明,张伟民,杨东亮.生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例.生态学报,2011,31(14):4153-4160.
Wang X Q, Zhang Y M, Zhang W M, Yang D L. The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantunggut Desert. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4153-4160.

生物结皮粗糙特征 ——以古尔班通古特沙漠为例

王雪芹^{1,*}, 张元明¹, 张伟民², 杨东亮^{1,3}

(1. 中国科学院生物地理与生物资源重点实验室/中国科学院新疆生态与地理所, 乌鲁木齐 830011;
2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站, 兰州 730000; 3. 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要:空气动力粗糙度可以反映地表气流与下垫面的相互作用。古尔班通古特沙漠是我国最大的固定、半固定沙漠,其间广泛分布的生物结皮在稳定地表和改善环境方面意义重大。对未经扰动的4种类型生物结皮进行表面微形态观察,并通过风洞实验确定动力粗糙度 z_0 和摩阻风速 u_* ,结果表明:(1)不同生物结皮类型,其组成和表面微形态等都具有明显差异。藻结皮以表面致密光滑为显著特征,由藻类分泌物和藻丝体粘结细粒物质所形成;地衣结皮表面藻类和真菌形成的叶状体匍匐沙面生长,呈现三维生长方式,形成有明显凹凸的壳状覆盖;苔藓结皮以苔藓植物体密集丛生为特点,地上部分出现了茎叶分化,有一定的柔韧性。(2)就动力粗糙度的大小而言,是按地衣结皮>藻类-地衣结皮>苔藓结皮>藻结皮的顺序排列的, z_0 平均值依次为 $(6.589\pm0.850)\text{ mm}$ 、 $(4.179\pm0.239)\text{ mm}$ 、 $(2.542\pm0.357)\text{ mm}$ 和 $(0.393\pm0.220)\text{ mm}$,与定床裸沙面的 $(0.042\pm0.019)\text{ mm}$ 相比,生物结皮 z_0 值提高了10—150倍。随着风速的增大 z_0 值有所减小,其中以地衣结皮的减小趋势较为明显。(3)由风速廓线对比发现,4类生物结皮对气流阻滞作用的差异主要局限于4 cm以下的高度范围,风速越大这种差异也越大。各类生物结皮摩阻风速 u_* 随风速增大而增大,其中藻结皮的增大速率明显低于其它3类结皮,说明藻结皮随风速增大的阻滞效应较其它3类结皮要差。(4)在净风条件下,地衣结皮具有最好的防风效果,其次为藻类-地衣结皮和苔藓结皮,藻结皮最差。当生物结皮破损后,床面结构和气流性质将发生变化,对空气动力学粗糙度和摩阻风速产生的影响将有待于进行更深入的研究。

关键词:生物结皮; 表面微形态; 动力粗糙度; 风洞实验; 古尔班通古特沙漠

The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantunggut Desert

WANG Xueqin^{1,*}, ZHANG Yuanming¹, ZHANG Weimin², YANG Dongliang^{1,3}

1 Key Laboratory of Bioresource and Biogeography in Arid Land, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China

2 Dunhuang Gobi Desert Ecological and Environmental Research Station, Cold and Arid Regions of Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The Gurbantunggut Desert, the largest fixed and semi-fixed desert in China, is covered by well-developed biological soil crust, formed by different combination of mosses, lichens, algae, fungi, cyanobacteria and bacteria. Biologically, this kind of crust differs a lot from physical soil crust in physical and chemical properties, and it serves as one of the biological factors contributing to the sand fixation in the Gurbantunggut Desert. Additionally, biological soil crust plays a significant role in desert ecosystem, involving in the process of formation, stabilizing and fertilizing soil, preventing erosion by water or wind, increasing the possibility of vascular plants colonization, and being responsible for the stabilization of sand dunes. In recent years, researchers have focused on the interactions between surface winds and crust

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-336);国家自然科学基金项目(40771032);国家重点基础研究发展计划(2009CB421303)

收稿日期:2010-03-26; **修订日期:**2011-03-28

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: xqwang@ms.xjb.ac.cn

surfaces, which can be characterized by aerodynamic roughness length. In this paper, an experimental study was carried out to investigate the microstructures of four different types of biological soil crust surface through microscopic examination. The soil samples were collected using the dustpan-like iron boxes ($30\text{cm}\times 20\text{cm}\times 10\text{cm}$), which were pushed into the ground to collect undisturbed soil samples covered by representative biological soil crust (moss crust, lichen crust, algal crust and algal-lichen crust respectively) and bare sand for control. The aerodynamic roughness length (z_0) and friction velocity (u_*) were determined in a wind tunnel. The results indicated that: (1) the species composition and surface features of the biological soil crust varied with their development stages. Algal crust, with compact and glossy surface, was an intricate network of filamentous cyanobacteria and exopolysaccharides that binds and entraps sand grains and conglutinated fine particles. Lichen crust had a rugose and pinnacled surface appearance, on which the thallus generated by algae, cyanobacteria and fungi crept along soil surface and manifested as a three dimensional leaflike cover. Moss crust surface was quite flexible and characterized by densely and caespitously moss plants that differentiates into stems and leaves. (2) The mean aerodynamic roughness length of lichen crust, algal-lichen crust, moss crust and algal crust are (6.589 ± 0.850) mm, (4.179 ± 0.239) mm, (2.542 ± 0.357) mm and (0.393 ± 0.220) mm, respectively. The values tended to be 10—150 times larger than that of fixed sandy bed. The aerodynamic roughness lengths of all crusts surfaces decreased with free-stream wind velocity. (3) From wind velocity profile we concluded that the block effects of crusts on air flow are mainly limited to no more than 4cm height from bed. The friction velocity of crusts increased with wind velocity, which means that the block effect of crusts on air flow tended to be better with increasing of wind speed. (4) Generally speaking, under clean wind condition the lichen crust had the best effect to control wind blow, followed by algal-lichen crusts and moss crust, while algal crusts had the lowest effect. Disturbances of the crusts will modify the surface features and wind-sand flow, and their effects on aerodynamic roughness and friction velocity need further investigated in future. This study will help us to improve our understanding of the aerodynamic roughness length of biological soil crust in arid areas and provide valuable scientific information that can be utilized in policy-making for the management of desert ecosystem.

Key Words: biological soil crusts; microstructure of crust surface; aerodynamic roughness length; wind tunnel experiment; Gurbantunggut Desert

在研究近地表气流与下垫面的相互作用时,研究者们通常引入粗糙度的概念。动力粗糙度是地表风速减小到零的某一几何高度^[1],反映下垫面在气流作用下的阻力特征,已被广泛地用于表征各种类型地表的空气动力学性质,如:沙质粗糙、雪质粗糙、水质粗糙、砾石粗糙和植被粗糙等^[2-4]。随着全球沙漠化威胁的日益加重,空气动力学粗糙度也倍受风沙科学的研究者的关注,所取得的一系列成果为深入理解不同床面风沙活动形成机制和建立有效的风沙危害防治措施提供了理论依据^[5-10]。

生物结皮是由土壤微生物、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,广泛分布于世界干旱、半干旱地区,在理化学和生物学特性上明显区别于松散沙土,具有重要的生态功能及地学效应^[11-15]。由微生物分泌物及孢子植物丝状体和假根将细小沙粒固结在一起,极大提高了生物结皮抵抗风蚀的能力。相当一部分研究关注于生物结皮层的微结构及对沙粒的黏结作用^[16-20],有助于从生物效应方面揭示生物结皮的抗风蚀和水蚀作用,但是却忽略了生物结皮的表层结构与气流的相互作用。生物结皮具有区别于松散沙物质、砾石和植物覆盖等的特殊床面结构,在气流作用下的阻力特征亦有其特殊性,进而影响到地表风蚀的发生及沙物质的搬运和堆积。由于空气动力学粗糙度 z_0 在表征地表障碍物对气流阻滞作用中反映最为敏感,因此被公认为是研究下垫面与大气间物质和能量交换过程首先要确定的基本参数^[6]。摩阻风速是描述气流层之间剪切作用的物理量,取决于气流层之间的速度梯度。古尔班通古特沙漠是我国最大的固定、半固定沙漠,其间广泛分布的生物结皮是稳定地表的重要生物因子^[19]。本文选择未经人类活动扰动的典型生物结皮类型,对表面微形态进行观察,研究其床面结构特征,通过风洞实验测定风速廓线,计算空气动力学粗糙度和摩阻风

速,这对于理解生物结皮与气流的相互作用以及生物结皮具体应用于风沙防治实践具有重要的意义。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

古尔班通古特沙漠位于准噶尔盆地腹地,是我国最大的固定、半固定沙漠。主要沙丘类型为半固定沙垄,长度数百米到10 km不等,近南北走向,高度10—50 m不等。沙垄中下部和垄间低地沙面稳定不变,沙垄顶部普遍有10—40 m宽度不等的流动带。该沙漠年积温3000—3500 °C,年降水量70—150 mm,潜在年蒸发量2000 mm以上,冬季有20 cm厚的稳定积雪,为典型的内陆干旱气候。白梭梭(*Haloxylon persicum*)为古尔班通古特沙漠的优势种,占据沙丘中上部,丘间低地和沙丘中下部为蛇麻黄群落(*Ephedra distachya*),其下普遍存在短命植物和生物结皮。

古尔班通古特沙漠生物结皮以南部区域发育最好,面积大且呈连续分布,由南向北、向西和向东变得破碎^[21-22]。在个体沙垄表面,生物结皮又存在明显的选择性分布^[23],从沙垄顶部向两坡延伸,开始出现发育较弱的藻结皮,至坡中部出现发育充分的藻结皮,并在局部有地衣植物出现。沿坡中部至坡下缘部,逐渐开始发育有良好的地衣结皮,同时在蛇麻黄等低矮灌木群落下和垄间低洼处发育有苔藓结皮。

1.2 研究方法

实验所用样品采自古尔班通古特沙漠南部(44°32'30"N, 88°6'42"E),包括苔藓结皮、地衣结皮、藻结皮和藻类-地衣结皮和裸沙对照样。取样时以水均匀喷洒于地表,至水渗入15 cm左右后,在旁侧挖掘壕沟,以30 cm × 20 cm × 10 cm(长×宽×高)规格簸箕状铁盒从侧面压入,用利刀切割后取出原状土(图1),自然状态下干燥,已备进行表面形态结构观察和室内风洞模拟实验。



图1 生物结皮样品(A)与室内风洞(B)

Fig.1 Biological crust samples (A) and wind tunnel (B)

实验室内将样品表面结皮层与下层松散沙粒小心分离,测其厚度。经液氮冷冻后,将样品的表面和截面分别黏贴于电子显微镜样品台上,喷金镀膜后,应用LEO1430VP型扫描电子显微镜(德国LEO公司)进行微观结构观察并照相。结皮抗压强度以手持量力环测得,量力环接触面直径4.4 mm,质量0.97497 kg,读数率定系数为2.5664N/0.01 mm。通过以下公式计算:总压力=量力环读数×率定系数+量力环重量(N),抗压强度=总压力/接触面面积,各类结皮测定样品数为10个,取平均值和标准误差。

风洞实验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室完成(图1)。风洞实验段全长16.2 m,宽1.0 m,高0.6 m。实验点位于实验段入口下风12 m处,风速连续可调^[7]。实验时分别将4种类型结皮土样及裸沙对比样水平置于实验段中轴升降槽内,使结皮表面与风洞底部齐平。风速测量用风速廓线皮托管分别安装在6、12、24、40、80、120、200 mm等高度。考虑到空气动力粗糙度不仅依赖于下垫面性质,而且依赖于风速大小^[6],故将实验段入口自由风速依次设为6、10、14、18、22 m/s和25 m/s。

1.3 数据分析

生物结皮粗糙特征用动力粗糙度 z_0 来表示。在计算动力粗糙度的诸多方法中,最常用的是对数廓线方程的最小二乘逼近实测风速廓线法^[24-25],其优点是由多个高度的风速资料计算 z_0 ,可提高精确性。在中性大气层结条件下,用最小二乘回归所观测的风速数据为:

$$u_z = a + b \ln z \quad (1)$$

式中, u_z 为高度 z 处的风速; a 、 b 为回归系数。在式(1)中,令 $u_z=0$ 可求出 z_0 为:

$$z_0 = \exp(-a/b) \quad (2)$$

将高度 z_1 、 z_2 处的风速 u_1 、 u_2 分别代入(1)式和风速廓线表达式 $u_z = (u_* / k) \ln(z/z_0)$ 可得:

$$u_1 - u_2 = b(\ln z_1 - \ln z_2) \quad (3)$$

$$u_1 - u_2 = (u_* / k)(\ln z_1 - \ln z_2) \quad (4)$$

由(3)、(4)可算得摩阻风速为:

$$u_* = kb \quad (5)$$

式中, k 为卡门系数(一般取 0.4)。动力粗糙度和摩阻速度通过上述方法拟合确定,并用相关系数($R^2 > 0.95$)控制,以保证风速测量结果及所测量高度在对数分布区域内。

2 研究结果

2.1 结皮形态特征

不同类型生物结皮的组成、厚度、抗压强度和表面微形态均有不同。按照生物结皮从低级向高级的发展顺序,结皮厚度和抗压强度由藻结皮、藻类-地衣结皮、地衣结皮和苔藓结皮依次增大(表 1)。藻结皮为发育早期的结皮类型,呈灰至灰白色,薄而脆,易破损。较多的细粒物质填充于表层沙粒空隙间,在藻类分泌物和藻丝体的黏结作用下形成致密、光滑而平坦的结皮表层(图 2a,d,g)。地衣结皮是古尔班通古特沙漠分布最广、覆盖度最大的优势结皮类型^[19],该类结皮中地衣植物为蓝、绿藻与真菌的共生体,往往形成叶状体表面。伴随着叶状体表面出现的许多细小裂隙,每一裂片的边缘在基质表面抬升,形成匍匐沙面生长和有明显凹凸的壳状覆被(图 2b,e,h)。苔藓结皮为生物结皮发育的高级阶段,干燥状态下呈黑至黑褐色,表层以苔藓植物体密集丛生为显著特点,高度多不超过 5 mm。苔藓植物通过其浓密的假根与土壤颗粒相连接,具有嵌入式的生长方式,而在地上部分的植物体已开始出现茎叶的分化(图 2c,f,i),暖季遇到适量水分即展叶变绿,具有一定的柔韧性。藻类-地衣结皮为地衣植物和藻类的混生产物,灰黑色相间,其表面形态与地衣结皮更为接近,依然具有匍匐于地表的叶状体壳状覆被存在,只是发育程度稍差,在结皮厚度和抗压强度上介于藻结皮和地衣结皮之间(表 1)。

表 1 不同类型结皮的组成、厚度与抗压强度

Table 1 Species composition, thickness and compression strength of biological crusts

结皮类型 Crust type	主要组成 Composition	结皮厚度 Thickness/cm	抗压强度 Compression strength/kPa
苔藓结皮 Moss crust	刺叶墙藓 <i>Tortula desertorum</i> Broth.; 绿色流苏藓 <i>Crassidium chloronotum</i> (Brid.) Limpr.; 银叶真藓 <i>Bryum argenteum</i> Hedw.; 泛生墙藓 <i>Tortula muralis</i> Hedw.	2.20±0.26	56.95±5.12
地衣结皮 Lichen crust	坚韧胶衣 <i>Collema tenax</i> ; 红鳞网衣 <i>Psora decipiens</i> ; 荒漠黄梅 <i>Xanthoparmelia desertorum</i> ; 薄生双缘衣 <i>Diploschistes muscorum</i>	1.29±0.15	52.57±8.34
藻结皮 Algal crust	具鞘微鞘藻 <i>Microcoleus vaginatus</i> ; 沼地微鞘藻 <i>Microcoleus paludosus</i> ; 固氮鱼腥藻 <i>Anabaena azotica</i> ; 膨胀色球藻单生变种 <i>Chroococcus turgidus</i> var. <i>solitarius</i> ; 马氏鞘丝藻 <i>Lyngbya martensiana</i> ; 鞘丝异球藻 <i>Xenococcus lyngbyae</i>	0.28±0.06	32.53±3.08
藻类-地衣结皮 Algal-lichen crust	具鞘微鞘藻 <i>Microcoleus vaginatus</i> ; 沼地微鞘藻 <i>Microcoleus paludosus</i> ; 固氮鱼腥藻 <i>Anabaena azotica</i> ; 坚韧胶衣 <i>Collema tenax</i> ; 荒漠黄梅 <i>Xanthoparmelia desertorum</i> ; 薄生双缘衣 <i>Diploschistes muscorum</i>	0.74±0.22	33.16±5.65

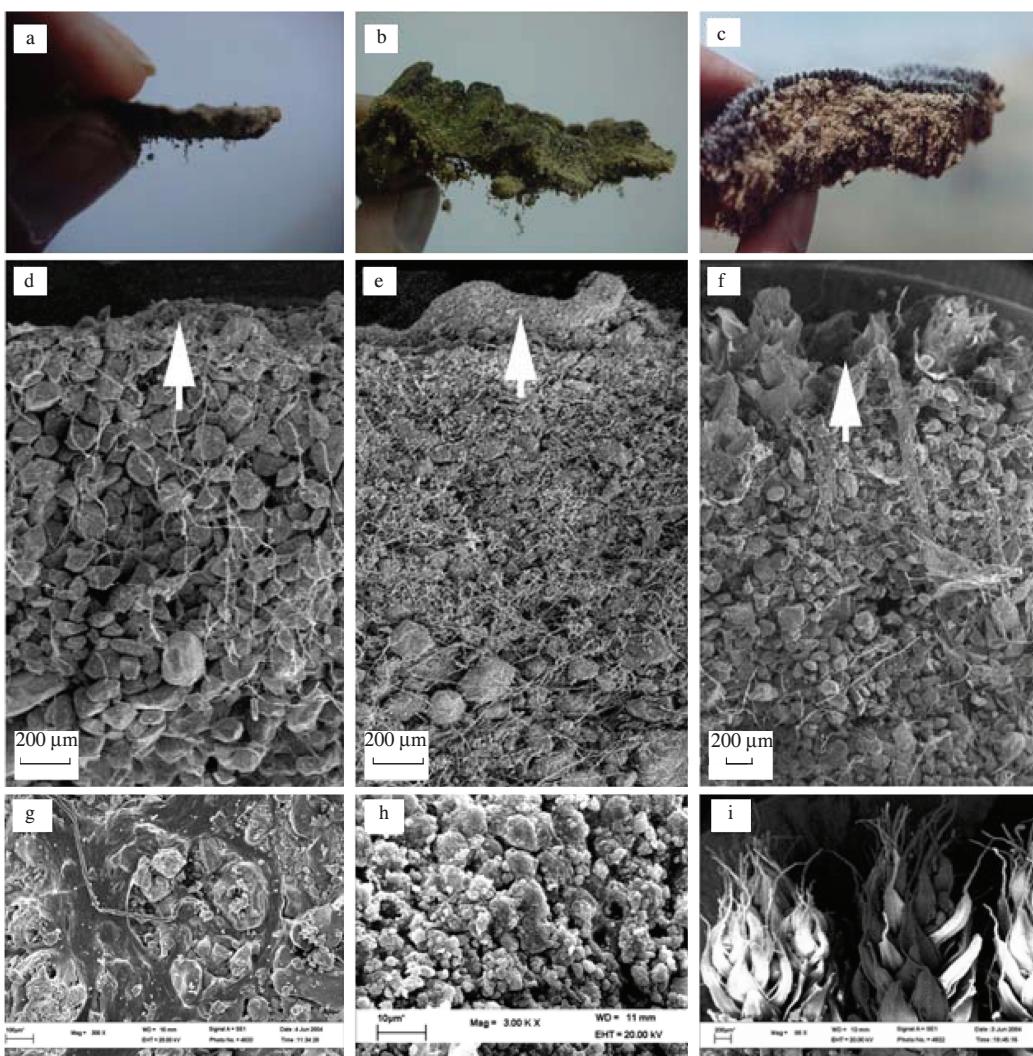


图2 生物结皮显微图

Fig. 2 SEM micrographs of the microbiotic soil crust

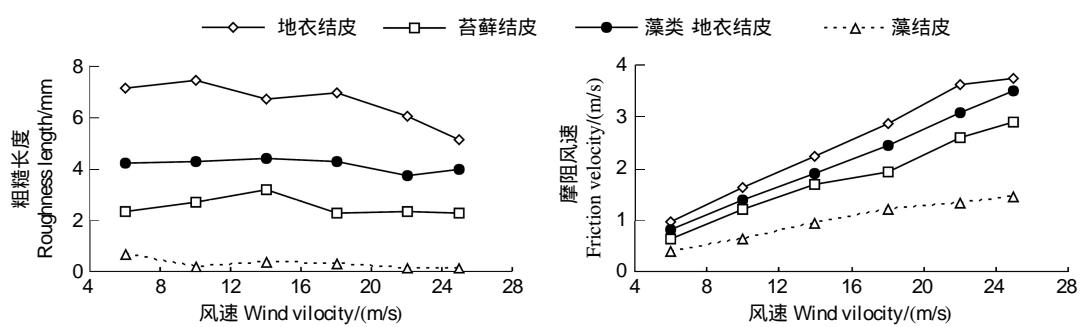
(a) 藻结皮; (b) 地衣结皮; (c) 苔藓结皮; (d) 藻结皮截面微结构; (e) 地衣结皮截面微结构; (f) 苔藓结皮截面微结构; (g) 藻结皮表层微形态; (h) 地衣结皮表层微形态; (i) 苔藓结皮表层微形态

3.2 结皮粗糙度

观测发现4类生物结皮在高达 $u=25\text{ m/s}$ 的入口风速下均未出现沙粒起动和风蚀现象,可将其视为定床床面,对比的裸沙实验将风速定在临界起动风速以下,亦使其处于定床状态,便于与生物结皮进行对比。计算得到定床裸沙面粗糙度 z_0 为 $(0.042\pm0.019)\text{ mm}$,藻结皮、苔藓结皮、藻类-地衣结皮和地衣结皮的平均粗糙度依次为 $(0.393\pm0.220)\text{ mm}$ 、 $(2.542\pm0.357)\text{ mm}$ 、 $(4.179\pm0.239)\text{ mm}$ 和 $(6.589\pm0.850)\text{ mm}$ 。可见,即便是发育程度较为低级的藻结皮,其粗糙度相对于裸沙面也提高了近10倍,地衣结皮则提高了150倍之多。随着风速的增大,各类结皮的 z_0 值总体上有所减小,其中以地衣结皮减小趋势较明显。4类生物结皮摩阻风速随风速增大而增大的规律显而易见,但增加速率在风速大于 22 m/s 时有所变缓。藻结皮的增大速率明显低于其它结皮类型,说明其阻滞效应随风速的增大而增加的效应相对较弱(图3)。

3.3 结皮风速廓线

从风速廓线的对比中可以看出,结皮表面风速的垂直变化呈现出一定的规律性(图4)。总体来看,在相同的入口风速条件下,距地表 4 cm 以下风速大小为:裸沙地>藻结皮>苔藓结皮>藻类-地衣结皮>地衣结皮,与地表粗糙度所反映的阻滞效应相符合。当高度大于 4 cm 时,各种类型结皮的风速变化趋于一致,特别是当

图3 生物结皮的空气动力学粗糙度 z_0 与摩阻风速 u_* 随风速的变化Fig. 3 Variation of roughness length (z_0) and friction velocity (u_*) with increase of wind speed

风速大于10 m/s时,风速廓线几乎趋于重合。据此推断,尽管各类型结皮的发育程度和粗糙度不同,但对风速的阻滞范围基本上都局限在距地表4 cm以下高度范围。随着入口风速的增大,垂直方向上风速变化的幅度也在增大,说明生物结皮对气流的阻滞效果也越明显。在各类生物结皮中,又以地衣结皮风速变化的幅度为最大,其它依次为藻类-地衣结皮、苔藓结皮和藻结皮。可见在净风条件下,地衣结皮具有最优异的风力阻滞效果,而藻结皮最差。

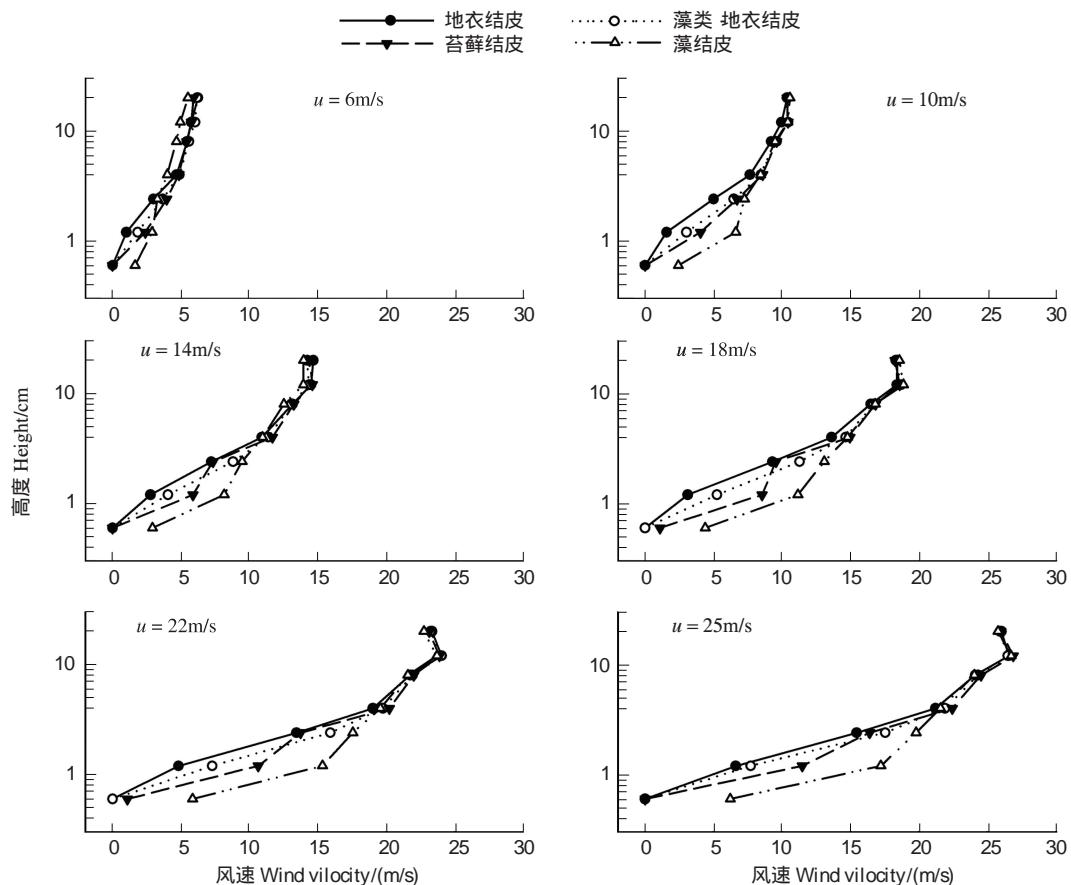


图4 4种类型生物结皮风速廓线对比

Fig. 4 Wind velocity profile of four type biological crusts

3 结论与讨论

关于不同下垫面的空气动力学相关研究成果,对理解气流与地表之间复杂的物质与能量交换产生了深远

的影响^[26]。生物结皮作为土壤微生物和孢子植物类群与土壤形成的有机复合体,具有不同于其它下垫面的床面性质。无论从生物结皮在世界干旱、半干旱区分布的广泛性而言,还是从改善环境、防沙治沙中的作用而言,对其床面性质和粗糙特征的研究都是一个值得关注的问题。

本项研究表明,不同的生物结皮所处的发育阶段不同,其组成、厚度和抗压强度都有明显差异。按藻结皮-藻类地衣结皮-地衣结皮-苔藓结皮顺序,遵循的是由低级向高级、由简单向复杂的发展过程,结皮厚度和抗压强度依次增大。张元明等人的研究表明,生物结皮的发育阶段对应着一定的沙粒粘结方式和强度变化^[27]。藻结皮阶段,藻类分泌物和大量的藻丝体将细粒物质黏结而形成的结皮层,具有初始的抗拉伸和抗压特性;到地衣结皮阶段,由蓝绿藻和真菌共生而成的地衣植物,其菌丝、根菌束和假根等具有较藻结皮更大的粘结强度,并可深入到更深的地下;到苔藓结皮阶段,植株有茎叶分化,苔藓植物的浓密假根又进一步提高粘结沙粒的能力并进一步向地下延伸,特别是沙埋后植物体能进行分枝,阻滞和粘结更多表层沙粒。因此,就不难理解发育程度越好的生物结皮会具有更大的厚度和抗压强度。

风洞实验表明,未经扰动的4类生物结皮与定床沙面的粗糙度相比提高了10—150倍,其中以地衣结皮最大,其它依次为藻类-地衣结皮、苔藓结皮和藻结皮,与生物结皮的发育程度顺序不相吻合,但从结皮表面的微形态结构特征分析却能很好地解释这一现象。藻结皮具有平坦光滑的表层构造,而地衣结皮中地衣植物的三维生长方式形成的明显凹凸表面,是二者粗糙度差异显著的主要原因。苔藓结皮中苔藓植物密集丛生,但相对整齐的排列方式和柔韧性,使其粗糙度低于地衣结皮而高于藻结皮。已有研究表明,砾石覆盖地表的粗糙度相对于光滑床面增加了1.375—663倍,增加倍数与砾石粒径、砾石覆盖度和自由风速有关^[8];植被覆盖面粗糙度受植被类型、高度、盖度、零平面位移、近地层顶风速以及大气层结稳定性的影响^[10]。对于生物结皮来说,由有机复合体的生物学性质所决定的暴露于地表以上的结皮形态特征的差异,是理解粗糙度和摩阻风速变化的关键。

有学者认为粗糙度是一个纯几何参数^[28],但越来越多的研究表明它又是一个动力学参数^[8, 29],其大小不仅受粗糙元性质的影响,亦受流经下垫面流体特征的影响。本次实验对未经扰动的四类生物结皮进行实验,发现随着风速的变化粗糙度也在变化,特别以地衣结皮的变化较明显,从一个侧面反映了近地表气流湍流对结皮动力粗糙度的影响。另外,在自然界中我们经常会看到受到扰动的生物结皮,结皮破损后不仅使床面粗糙元性质发生了变化,地表的沙物质输移亦会对近地表气流产生影响^[30]。因此,对生物结皮(包括破损结皮)的此项研究应该同时考虑粗糙元和地表气流的性质。虽然这会使研究难度有所加大,但研究成果不仅可以精确反映近地表气流与生物结皮表面物质与能量的交换以及相互作用,也是深入理解结皮分布区风沙活动产生机制、从理论上指导防沙治沙的关键。

致谢:风洞实验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室完成,刘雪灿在野外样品采集中给予帮助,在此一并致谢。

References:

- [1] Blumberg D G, Greeley R. Field studies of aerodynamic roughness length. *Journal of Arid Environment*, 1993, 25(1): 39-48.
- [2] Bagnold R A. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. New York: Methuen, 1941: 85-265.
- [3] Owen P R. Saltation of uniform grains in air. *Journal of Fluid Mechanics*, 1964, 20: 225-242.
- [4] Chamberlain A C. Roughness length of sea, sand and snow. *Boundary-Layer Meteorology*, 1983, 25(4): 405-409.
- [5] Wu Z. *Aeolian Geomorphology*. Beijing: Science Press, 1987: 23-25, 260.
- [6] Dong Z B, Fryrear D W, Gao S Y. Modeling the roughness effect of blown-sand-controlling standing vegetation in windtunnel. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(3): 260-263.
- [7] Dong Z B, Wang X M, Zhao A G, Liu L Y, Liu X W. Aerodynamic roughness of fixed sandy beds. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106(6): 11001-11011.
- [8] Dong Z B, Liu X P, Wang X M. Aerodynamic roughness of gravel beds. *Geomorphology*, 2002, 43 (1/2): 17-31.
- [9] Liu X P, Dong Z B. Wind tunnel tests of the roughness and drag partition on vegetated surface. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(1): 82-87.
- [10] Lu P, Dong Z B. Determination of roughness length on gobi deflation plane and vegetated surface. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(3): 279-

285.

- [11] Eldridge D J, Greene R S B. Microbiotic soil crusts — a view of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32(3): 389-415.
- [12] Williams J D, Dobrowski J P, West N E. Microphytic crust influence on interrill erosion and infiltration capacity. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1995, 38(1): 139-146.
- [13] Belnap J, Lange O L. Biological soil crusts: characteristics and distribution // Belnap J, Lange O L, eds. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- [14] Li X R, Long L Q, Wang X P, Zhang J G, Jia Y K. Advances in microbiotic soil crust research and its ecological significance in arid and semiarid regions. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(1): 4-11.
- [15] Li X R, Wang X. P, Li T, Zhang J G. Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35(3): 147-154.
- [16] 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.
- [17] Issa O M, Bissonnais Y L, Défarge C, Trichet J. Role of a cyanobacterial cover on structural stability of sandy soils in the Sahelian part of western Niger. *Geoderma*, 2001, 101: 15-30.
- [18] Hu C X, Liu Y D, Zhang D L, Huang Z B, Paulsen B S. Cementing mechanism of algal crusts from desert area. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(12): 931-937.
- [19] Zhang Y M. The microstructure and formation of biological soil crusts in their early developmental stage. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(1): 48-53.
- [20] Zhang Y M, Wang H L, Wang X Q, Yang W K, Zhang D Y. The microstructure of microbiotic crust and its influence on wind erosion for a sandy soil surface in the Gurbantunggut Desert of Northwestern China. *Geoderma*, 2006, 132: 441-449.
- [21] Chen J, Zhang Y M, Wang L, Shimazaki H, Tamur M. A new index for mapping lichen-dominated biological soil crusts in desert area. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 96(2): 165-175.
- [22] Zhang Y M, Chen J, Wang X. Q, Gu Z H. The spatial distribution patterns of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern Xinjiang, China. *Journal of Arid Environments*, 2007, 68(4): 599-610.
- [23] Wang X Q, Zhang Y M, Wang Y C, Wan J P, Xu M. Eco-environment change of biological crusts on longitudinal dune surface in Gurbantunggut Desert. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(5): 711-716.
- [24] Stearns C R. Determining surface roughness and displacement height. *Boundary Layer Meteorology*, 1970, 1(1): 102-111.
- [25] Liu X P, Dong Z B. Review of aerodynamic roughness length. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(4): 337-346.
- [26] Li Z S, Chen G T. A review of roughness length. *Journal of Desert Research*, 1997, 17(1): 99-102.
- [27] Zhang Y M, Wang X Q. Study on the Biological Soil Crusts of Jungar Desert. Beijing: Science Press, 2008: 74-85.
- [28] Counihan J. Wind tunnel determination of the roughness length as a function of the fetch and the roughness density of three-dimensional roughness elements. *Atmosphere Environment*, 1971, 5(8): 637-650.
- [29] Wyatt V E, Nickling W G. Drag and shear stress partitioning in sparse desert creosote communities. *Canadian Journal of Earth Science*, 1997, 34: 1486-1497.
- [30] Zhang Z S, Zhao A G, Dong Z B, Li H. Characteristics of natural restored microbiotic crusts against soil erosion. *Journal of Desert Research*, 27 (4): 558-562.

参考文献:

- [5] 吴正. 风沙地貌学. 北京: 科学出版社, 1987: 23-25, 260.
- [6] 董治宝, Fryrear D W, 高尚玉. 直立植物防沙措施粗糙特征的模拟实验. *中国沙漠*, 2000, 20(3): 260-263.
- [9] 刘小平, 董治宝. 直立植被粗糙度和阻力分解的风洞实验研究. *中国沙漠*, 2002, 22(1): 82-87.
- [10] 吕萍, 董治宝. 戈壁风蚀面与植被覆盖面地表性质粗糙度长度的确定. *中国沙漠*, 2004, 24(3): 279-285.
- [14] 李新荣, 龙利群, 王新平, 张景光, 贾玉奎. 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. *中国沙漠*, 2001, 21(1): 4-11.
- [18] 胡春香, 刘永定, 张德禄, 黄泽波, Paulsen B S. 荒漠藻结皮的胶结机理. *科学通报*, 2002, 47(12): 931-937.
- [19] 张元明. 荒漠地表生物土壤结皮的微结构及其早期发育特征. *科学通报*, 2005, 50(1): 48-53.
- [23] 王雪芹, 张元明, 王远超, 万金平, 徐曼. 古尔班通古特沙漠生物结皮小尺度分异的环境特征. *中国沙漠*, 2006, 26(5): 711-716.
- [25] 刘小平, 董治宝. 空气动力学粗糙度的物理与实践意义. *中国沙漠*, 2003, 23(4): 337-346.
- [26] 李振山, 陈广庭. 粗糙度研究的现状及展望. *中国沙漠*, 1997, 17(1): 99-102.
- [27] 张元明, 王雪芹. 准噶尔荒漠生物结皮研究. 北京: 科学出版社, 2008: 74-85.
- [30] 张正偲, 赵爱国, 董治宝, 李宏. 藻类结皮自然恢复后抗风蚀特性研究. *中国沙漠*, 2007, 27(4): 558-562.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 14 July,2011(Semimonthly)
CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains; a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiping, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	ZHOU Xiaoqing, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biologicalsoil crusts;a case study of Gurbantunggut Desert	WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

*《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次, 全国排名第 1; 影响因子 1.812, 全国排名第 14; 第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	Edited by Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	Sponsored by Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科学出版社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科学出版社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic All Local Post Offices in China
国 外 发 行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	Foreign China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广 告 经 营	京海工商广字第 8013 号	
许 可 证		

