

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

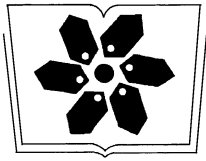
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第6期 Vol.31 No.6 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 6 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

臭氧胁迫对水稻生长以及 C、N、S 元素分配的影响	郑飞翔,王效科,侯培强,等 (1479)
高含氮稻田深层土壤的氨氧化古菌和厌氧氨氧化菌共存及对氮循环的影响	王 雨,祝贵兵,王朝旭,等 (1487)
气候年际变率对全球植被平均分布的影响	邵 璞,曾晓东 (1494)
模拟升温 and 放牧对高寒草甸土壤有机碳氮组分和微生物生物量的影响	王 蓓,孙 庚,罗 鹏,等 (1506)
广州城区生态安全岛典型植物群落结构及物种多样性	莫 丹,管东生,黄康有,等 (1515)
中亚热带湿地松人工林生长过程	马泽清,刘琪璟,王辉民,等 (1525)
潜流人工湿地中植物对氮磷净化的影响	刘树元,阎百兴,王莉霞 (1538)
模拟氮沉降对两种竹林不同凋落物组分分解过程养分释放的影响	涂利华,胡庭兴,张 健,等 (1547)
苔藓植物对贵州丹寨汞矿区汞污染的生态监测	刘荣相,王智慧,张朝晖 (1558)
三峡库区泥、沙沉降对低位狗牙根种群的影响	李 强,丁武泉,朱启红,等 (1567)
上海崇明东滩互花米草种子产量及其萌发对温度的响应	祝振昌,张利权,肖德荣 (1574)
栲-木荷林凋落叶混合分解对土壤有机碳的影响	张晓鹏,潘开文,王进闯,等 (1582)
荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响	丁金枝,来利明,赵学春,等 (1594)
黄土丘陵沟壑区小流域土壤有机碳空间分布及其影响因素	孙文义,郭胜利 (1604)
种间互作和施氮对蚕豆/玉米间作生态系统地上部和地下部生长的影响	李玉英,胡汉升,程 序,等 (1617)
测墒补灌对冬小麦氮素积累与转运及籽粒产量的影响	韩占江,于振文,王 东,等 (1631)
植被生化组分光谱模型抗土壤背景的能力	孙 林,程丽娟 (1641)
北方两省农牧交错带沙棘根围 AM 真菌与球囊霉素空间分布	贺学礼,陈 程,何 博 (1653)
基于水源涵养的流域适宜森林覆盖率研究——以平通河流域(平武段)为例	朱志芳,龚固堂,陈俊华,等 (1662)
黑龙江大兴安岭呼中林区火烧点格局分析及影响因素	刘志华,杨 健,贺红士,等 (1669)
大兴安岭小尺度草甸火燃烧效率	王明玉,舒立福,宋光辉,等 (1678)
长江口中华鲟自然保护区底层鱼类的群落结构特征	张 涛,庄 平,章龙珍,等 (1687)
骨顶鸡等游禽对不同的人为干扰的行为响应	张微微,马建章,李金波 (1695)
光周期对白头鹇体重、器官重量和能量代谢的影响	倪小英,林 琳,周菲菲,等 (1703)
应用稳定同位素技术分析华北部分地区第三代棉铃虫虫源性质	叶乐夫,付 雪,谢宝瑜,等 (1714)
西花蓟马对蔬菜寄主的选择性	袁成明,郅军锐,曹 宇,等 (1720)
基于 Cyt b 基因序列分析的松毛虫种群遗传结构研究	高宝嘉,张学卫,周国娜,等 (1727)
沼液的定价方法及其应用效果	张昌爱,刘 英,曹 曼,等 (1735)
垃圾堆肥基质对不同草坪植物生态及质量特征的影响	赵树兰,廉 菲,多立安 (1742)
五氯酚在稻田中的降解动态及生物有效性	王诗生,李德鹏 (1749)
专论与综述	
景观遗传学:概念与方法	薛亚东,李 丽,吴巩胜,等 (1756)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 31 * 2011-03



封面图说:美丽优雅的新疆夏尔西里森林草地原始景观。夏尔西里国家级自然保护区建立在新疆博乐北部山区无人干扰的中哈边境上,图中雪地云杉为当地的优势树种。

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

荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及生态系统碳固持的影响

丁金枝^{1,2}, 来利明¹, 赵学春¹, 朱林海¹, 姜联合¹, 郑元润^{1,*}

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:荒漠化极大地影响着包括毛乌素沙地在内的干旱、半干旱区的土壤呼吸及碳固持潜力,因而,可能对区域或全球的碳循环造成一定影响。为揭示土壤呼吸的时间变化及其影响因子,理解荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及碳固持的影响,根据毛乌素沙地荒漠化类型的研究结果,以毛乌素沙地固定沙地本氏针茅群落(FS)、固定沙地油蒿群落(FA)、半固定沙地油蒿群落(SFA)、流动沙地一年生植物群落(AL)等4个代表毛乌素沙地荒漠化主要阶段的植物群落为研究对象,采用LI-8100土壤碳通量测量系统测定了其土壤呼吸速率的日动态和月动态,结合植物群落生产力的野外调查,分析了荒漠化对土壤呼吸速率及碳固持的影响。结果表明:FA、FS、SFA、AL不同月份之间土壤呼吸速率日动态变化显著,4个群落5月份土壤呼吸最高、最低值分别出现在9:00—10:00和18:00,但6—9月份土壤呼吸最高、最低值却分别出现在12:00以后和7:00。FA、FS、SFA、AL在主要生长季(5—9月)的平均土壤呼吸速率分别为:99.79、88.13、47.95、13.82 mg·m⁻²·h⁻¹。FS、FA和SFA土壤呼吸速率月变化显著,5月最低,7月最高,AL土壤呼吸速率月变化相对较小。FS、FA和SFA土壤呼吸速率月变化与土壤温度存在显著的指数相关关系,FS、FA、SFA和AL的 Q_{10} 值依次为5.87、5.05、4.02、0.64。FS和FA的土壤呼吸速率月变化与土壤湿度显著正相关,而SFA和AL的土壤呼吸速率月变化与土壤湿度不存在显著线性关系。土壤呼吸与10 cm深度的土壤温度和湿度回归模型表明土壤温度和湿度可以解释不同群落土壤呼吸月变化的69%—87%。FS、FA、SF和AL的月土壤呼吸速率与根系生物量存在显著线性关系。在主要生长季(5—9月)平均根系呼吸速率和平均土壤微生物呼吸随荒漠化程度的加重而降低。FS、FA、SFA和AL根系呼吸与土壤呼吸的比率分别为51.40%、59.99%、70.85%、45.86%。在主要生长季(5—9月)净生态系统生产力分别为36.16、18.56、-11.29和-22.49 g/m²。随荒漠化程度的加重,生态系统碳固持能力逐渐降低。因此,采取合理措施使荒漠化土地向以油蒿或本氏针茅为主的固定沙地演替,有助于毛乌素沙地生态系统碳固持能力的提高和植物群落的生长。

关键词:毛乌素沙地;荒漠化;土壤呼吸速率;碳固持

Effects of desertification on soil respiration and ecosystem carbon fixation in Mu Us sandy land

DING Jinzhi^{1,2}, LAI Liming¹, ZHAO Xuechun¹, ZHU Linhai¹, JIANG Lianhe¹, ZHENG Yuanrun^{1,*}

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

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

Abstract: Desertification greatly affected the soil respiration and carbon fixation potential in arid and semi-arid area including the Mu Us sandy land of Northern China, and therefore changed the carbon circulation in regional or global scale. In order to reveal the temporal variations of soil respiration and their controlling factors, to understand the effect of desertification on soil respiration rate and the carbon fixation rate in Mu Us sandy land, the main desertification stages in this area were identified in this study as *Stipa bungeana* communities on fixed dunes (FS), *Artemisia ordosica* communities on fixed dunes (FA), *A. ordosica* communities on semi-fixed dunes (SFA) and annual grass communities in active dunes (AL) based on the previous researches. Within each of these communities, we measured the diurnal and monthly dynamics

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-JC303);国家自然科学基金项目(30671724)

收稿日期:2010-05-11; **修订日期:**2011-01-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhengyr@ibcas.ac.cn

of soil respiration using a LI-8100 Automated Soil CO₂ Flux System. In addition, we made field observations of the net primary productivity. The results showed that: Diurnal soil respiration rate varied significantly among different months in FS, FA, and SFA communities, but not for AL communities. For all communities, the highest soil respiration rates were observed in 9:00—10:00, and the lowest at 18:00 in May. However, the highest and the lowest values were observed after 12:00 and at 7:00 from June to September, respectively. In main growing season from May to September, the mean soil respiration rate were 99.79, 88.13, 47.95 and 13.82 mg·m⁻²·h⁻¹ for FA, FS, SFA and AL communities, respectively. Monthly soil respiration changed significantly for FS, FA and SFA communities, but not for AL communities. Mean soil respiration rate was lowest in May and highest in July. An exponential relationship between monthly soil respiration of FS, FA and SFA communities and monthly temperature was found to be significant. The associated values of Q₁₀ were 5.87, 5.05, 4.02, 0.64, for FS, FA, SFA and AL communities, respectively. Monthly soil respiration was found to be linearly related to monthly soil moisture only for fixed dune communities (FS and FA), but not for SFA and AL communities. A regression model of soil respiration rate against soil temperature and soil water content at 10 cm depth indicted that soil temperature and soil water content accounted for 69%—87% of the total variance of soil respiration rate in different communities. Linear relationships between monthly soil respiration rate and root biomass were observed for all communities. In main growing season from May to September, both mean root respiration rate and mean soil microorganism respiration rate decreased with worsening desertification. The ratio of root respiration to total respiration were 51.40%, 59.99%, 70.85% and 45.86% for FS, FA, SFA and AL communities, respectively. During main growing season from May to September, net ecosystem productivities were 36.16, 18.56, -11.29 and -22.49 C g/m² for FS, FA, SFA and AL communities, respectively. The carbon fixation potential of the ecosystem was inversely related to the degree of desertification. Therefore, the facilitation of ecological succession toward *S. bungeana* or *A. ordosica* communities in fixed dunes has potential for increasing the potential carbon fixation rate and plant communities growing in Mu Us sandy land.

Key Words: Mu Us Sandy land; desertification; soil respiration rate; carbon fixation

土壤呼吸约占生态系统呼吸的 60%—90%^[1],是全球碳循环中最大的碳通量之一,在调控区域及全球尺度的碳循环中起着十分关键的作用,土壤呼吸的微小变化会对大气 CO₂ 浓度变化产生深远影响。因此,深入理解不同区域的土壤呼吸对于预测区域及全球碳循环十分关键^[2]。

占全球陆地总面积 30%—40% 的干旱土地在全球碳循环过程中占有十分重要的地位,但干旱区严酷的自然条件和频繁的人为干扰使得原本敏感、脆弱的生态系统面临严重退化^[3]。研究表明,人类干扰强度增加导致的土地退化/荒漠化是土壤有机碳向大气加速释放的主要原因,尤其对于干旱、半干旱区脆弱的生态系统而言,非持续的土地利用方式加速了碳素由土壤向大气释放的过程^[4]。目前,土地荒漠化影响着全球约 36 亿 hm² 的土地^[5]。我国荒漠化土地约占国土面积的 27.2%,是世界上受荒漠化影响最严重的国家之一^[6]。位于内蒙古高原的毛乌素沙地曾是水草丰美的草地,但由于不合理的开垦和过度放牧引起了严重的草地沙化,已成为我国荒漠化的中心区域之一^[7]。随着荒漠化的发展,植物群落发生逆行演替,从固定沙地到半固定沙地再到流动沙地,植物群落的种类组成、盖度、生物量、土壤理化性质发生了显著变化,因而可能导致土壤呼吸速率及生态系统碳固持发生重大变化。

近年来,关于荒漠化草地的碳循环研究已有一些报道,Huenneke 等认为草地荒漠化导致草地净生产力下降^[8],Jackson 等研究发现,草地退化导致草地生态系统碳储量出现不同程度的降低^[9],Jin 等指出降雨对半干旱地区土壤呼吸具有促进作用^[10],张丽华等研究了准噶尔盆地荒漠生态系统土壤呼吸的基本特征,赵哈林^[11]、李玉强^[12]探讨了沙漠化对科尔沁沙地土壤呼吸及碳平衡的影响,但目前对草地荒漠化过程中土壤呼吸及碳平衡的变化规律及其环境控制机制的认识仍不够全面,因此对于干旱、半干旱区广大范围内由于荒漠化导致的生态系统碳库损失缺乏准确估计,反之,对于该区域内植被恢复后对碳固持的贡献亦难以进行准确评

估,因而有必要进行深入研究。

鉴于此,本文选取毛乌素沙地荒漠化主要阶段的植物群落作为研究对象,测定草地荒漠化不同阶段土壤呼吸和相应植物群落地上及地下生物量的变化,揭示该区荒漠化不同阶段土壤呼吸的变化规律及其环境控制机制,分析荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸及碳固持的影响,提出减缓毛乌素沙地荒漠化草地碳固持降低的应对措施。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区地处鄂尔多斯市伊金霍洛旗南部的毛乌素沙地,年平均温度为 6.3°C , 年均降水为 346mm , 主要集中在 7、8、9 月, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 2754°C 。地带性植被为半干旱本氏针茅(*Stipa bungeana*)草原,目前仅零星分布在梁地的上部,半灌木油蒿(*Artemisia ordosica*)群落是风沙土上最普遍的植被类型^[13]。

沙地植被通常分为流动沙地、半固定沙地、固定沙地 3 个阶段,考虑到本氏针茅在毛乌素沙地的地带性分布,选择固定沙地本氏针茅群落(FS)、固定沙地油蒿群落(FA)、半固定沙地油蒿群落(SFA)、流动沙地 1 年生植物群落(AL)代表毛乌素沙地荒漠化程度逐渐增加的系列进行研究。各类型群落组成特征详见文献^[14]。本氏针茅群落分布的土壤类型为栗钙土或淡栗钙土,油蒿群落则发育在风沙土之上。流动沙地的土壤质地较粗,矿质颗粒的粒径集中于 $105\text{--}420\mu\text{m}$,而在被油蒿群落固定的沙地上,土壤质地很细,粒径小于 $105\mu\text{m}$ 的矿质颗粒显著增加。本氏针茅群落、油蒿群落、流动沙地在 $0\text{--}30\text{cm}$ 土层土壤有机碳含量分别为 3.19 、 3.42 、 3.13mg/g ;土壤全氮含量分别为 1.19 、 1.98 、 1.83mg/g ;土壤 pH 分别为 8.86 、 8.92 、 8.81 ^[15]。

1.2 土壤呼吸速率测定

本研究使用 LI-8100 土壤碳通量测量系统(LI-COR-8100)测定土壤呼吸速率。在固定沙地本氏针茅群落和流动沙地一年生植物群落等异质性较小的群落内随机固定 3 个土壤 PVC 环(直径 20cm , 高 11cm),而在异质性较大的油蒿群落内选择中等大小的油蒿剪掉地上部分,分别在剪掉生长油蒿的部位、距离剪掉油蒿植株较近的空地、两株剪掉油蒿的中间区域固定 3 个 PVC 环。所有测定均在 24h 前,剪掉植株地上部分,尽可能不扰动地面凋落物,将土壤环直接插入土壤。测定时间分别为 2009 年 5 月 10—13 日、6 月 19—23 日、7 月 19—23 日、8 月 17—20 日、9 月 13—16 日,从早 7 点到晚 18 点,每隔 1 h 测定 1 次。同时每月对每个群落进行 1 次昼夜测定,间隔时间约 10min ,用于校正土壤呼吸的日均值。土壤温湿度由 LI-8100 分析仪自带的温、湿度探头测定,测定土壤深度为 10cm ,用于分析土壤呼吸速率和土壤温湿度的关系。

1.3 地上、地下生物量测定

生物量的测定使用收获法,测定时间与土壤呼吸同步。对于草本植物群落如本氏针茅群落和流动沙地 1 年生植物群落,调查 5 个 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 的样方,记录物种数、高度、盖度、株丛数、并测定生物量;对于半灌木群落如油蒿群落,调查 5 个 $5\text{m}\times 5\text{m}$ 的样方,记录油蒿的冠幅、高度、盖度、株丛数等,对样方内的全部植物刈割称重,大样方内做 3 个 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 的草本样方用于记录草本植物的种类。同时,每次测定时收集样方内的凋落物量,各时期生物量增加量与凋落物增加量的累加即可作为当年生物量(生产力)。

地下生物量的测定与地上生物量测定同步。取样深度为 50cm ,分 $0\text{--}10\text{cm}$ 、 $10\text{--}20\text{cm}$ 、 $20\text{--}30\text{cm}$ 、 $30\text{--}40\text{cm}$ 、 $40\text{--}50\text{cm}$ 进行分层测定。对于草本植物群落在测量地上生物量的样方内分层挖取 $10\text{cm}\times 10\text{cm}\times 10\text{cm}$ 的土体;对于半灌木群落在测量地上生物量的样方内分层挖取 $50\text{cm}\times 50\text{cm}\times 10\text{cm}$ 土体。在实验室内洗根,并分细根(直径 $\leq 2.0\text{mm}$)和粗根(直径 $> 2.0\text{mm}$),于 85°C 烘干 48h 后称重。

与此同时,在生长季利用 ECH_2O 土壤水分测定探头对不同植物群落进行土壤温湿度的长期观测,观测深度为 5 、 10 、 20 、 30 、 40cm 。

1.4 数据分析

使用 SPSS 17.0 进行数据分析。采用方差分析比较 4 个群落类型,不同月份之间的土壤呼吸速率。

采用指数模型分析土壤呼吸速率和土壤温度月变化的关系,采用一元线性回归模型分析土壤呼吸速率和

土壤湿度月变化的关系,方程如下:

$$Rs = a e^{b T_{10}} \quad (1)$$

$$Q_{10} = e^{10b} \quad (2)$$

$$Rs = c + d W_{10} \quad (3)$$

式中, Rs 为土壤呼吸速率 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), a, b, c, d 为拟合参数, T_{10} 指 10cm 深度的土壤温度 ($^{\circ}\text{C}$), Q_{10} 为土壤呼吸速率的温度敏感性指数,指某一土壤温度时的土壤呼吸速率值与低于该温度 10°C 以下的土壤呼吸速率值之比, W_{10} 指 10cm 深度的土壤体积含水量。

利用方程(4)分析土壤呼吸速率与土壤温度和土壤水分的关系:

$$Rs = a + b T_{10} + c W_{10} + d T_{10} \times W_{10} \quad (4)$$

式中, a, b, c, d 均为拟合参数。并利用 ECH_2O 土壤水分测定探头在生长季长期观测的温湿度数据和方程(4)推算出 4 个植物群落在生长季的土壤呼吸碳释放量。

计算 4 个植物群落不同月份的土壤呼吸昼夜均值和日均值的比率,用来校正 4 个植物群落各月土壤呼吸的日均值,获得昼夜平均土壤呼吸速率。

采用一元线性回归方程分析昼夜土壤呼吸速率与根系生物量的关系,并假定根系生物量为零时的土壤呼吸速率为最小土壤微生物呼吸^[16-17],根系呼吸速率可通过土壤呼吸速率和微生物呼吸速率之差计算得到,进而估算土壤呼吸不同组分的相对贡献量。

采用净生态系统生产力(NEP)表示生态系统的碳固持情况^[18],方程如下:

$$NEP = NPP - R_m \quad (5)$$

式中, NPP 表示生态系统的净第一性生产力,并由干物质质量乘以 0.48 转换为碳量, R_m 表示土壤微生物呼吸碳量, NEP 为大气与生态系统的净碳交换。

2 结果

2.1 土壤呼吸速率日变化

固定沙地本氏针茅群落(FS)、固定沙地油蒿群落(FA)、半固定沙地油蒿群落(SFA)和流动沙地 1 年生草本植物群落(AL)各月土壤呼吸速率的日变化特点随月份变化,同一月份不同群落类型又有各自的特点:

5 月,土壤呼吸速率最低值出现在 18:00,最大值出现在 9:00—10:00;日均值由大到小依次为:FA、FS、SFA、AL。

6 月,土壤呼吸速率的最大值出现在 11:00—13:00,最小值出现在 7:00;日变幅和日均值由大到小依次为:FA、FS、SFA、AL。

7、8 月,FS、FA、SFA 土壤呼吸最大值出现在 13:00—15:00,最低值出现在 7:00;土壤呼吸速率日变幅和日均值由大到小依次为 FA、FS、SFA、AL。

9 月,最大值出现在 11:00—13:00,最小值出现在 7:00。土壤呼吸速率日变幅和日均值由大到小依次为:FS、FA、AL、SFA。在 7:00—11:00,FS 和 FA 的土壤呼吸速率的大小和日变化趋势相近,FS 土壤呼吸速率的日均值高于 FA;AL 的土壤呼吸速率日变化规律与 SFA 相似。

流动沙地植物群落(AL)在整个生长季内土壤呼吸速率的日变幅较小,较稳定地波动在 $11.2\text{--}22.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间(图 1)。

2.2 土壤呼吸速率的月变化

本氏针茅群落、固定沙地油蒿群落和半固定沙地油蒿群落土壤呼吸速率均表现出明显的月变化,且有着相似的变化规律,即 5 月最低,之后逐渐升高,到 7 月达到最大值,随后逐渐降低。流动沙地土壤呼吸速率的月变化不明显。生长季(除 9 月外)平均土壤呼吸速率由大到小依次为:FA、FS、SFA、AL($P < 0.05$)(表 1)。

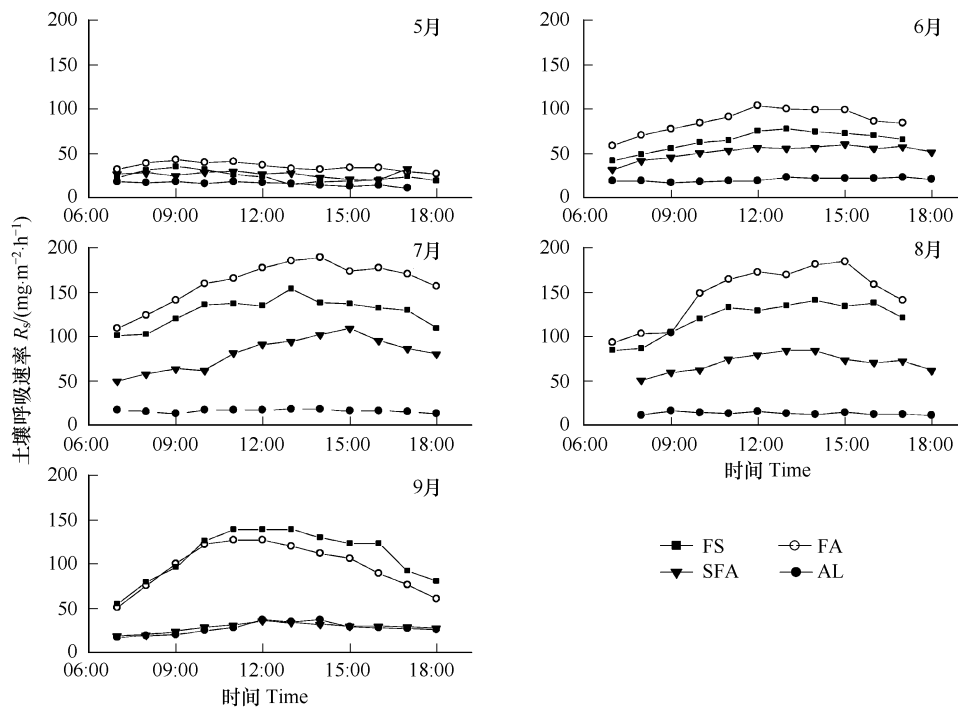


图1 不同植物群落土壤呼吸速率日变化

Fig. 1 Diurnal variation of soil respiration rate for different plant communities

固定沙地本氏针茅群落 (FS)、固定沙地油蒿群落 (FA)、半固定沙地油蒿群落 (SFA) 和流动沙地 1 年生植物群落 (AL)

表1 不同群落生长季土壤呼吸速率的比较 (mg·m⁻²·h⁻¹)

Table 1 Comparisons on soil respiration rate (R_s) in different plant communities in growing season

月份 Month	固定沙地本氏针茅群落 FS	固定沙地油蒿群落 FA	半固定沙地油蒿群落 SFA	流动沙地一年生植物群落 AL
5	25.92 ± 5.18a	44.93 ± 12.10b	22.03 ± 24.19ac	12.53 ± 2.16c
6	69.55 ± 17.28a	93.74 ± 24.19b	48.38 ± 7.78c	17.71 ± 15.98d
7	149.04 ± 38.88a	177.55 ± 35.86b	88.99 ± 47.52c	13.82 ± 3.04d
8	111.46 ± 16.85a	136.94 ± 35.86b	62.64 ± 13.39c	9.94 ± 1.29d
9	104.11 ± 13.39a	85.10 ± 22.46b	27.65 ± 2.16c	25.49 ± 6.48d

表中不同的小写字母表示在相同的月份内不同植物群落的土壤呼吸速率存在显著差异, $P < 0.05$, $n = 3$

2.3 土壤呼吸速率与土壤温、湿度的关系

对于 FS、FA、SFA、AL 而言,土壤呼吸速率的月变化与土壤温度 (T_{10}) 存在显著的指数相关关系 ($P < 0.05$)。其中,AL 土壤呼吸速率与 T_{10} 呈显著的负相关关系 ($P < 0.05$) (图2)。FS、FA、SFA、AL 的 Q_{10} 值分别为 5.87、5.05、4.02、0.64,随着荒漠化程度的加重, Q_{10} 值逐渐降低,表明荒漠化程度的增加使得土壤呼吸速率对土壤温度季节变化的敏感性逐渐降低。

对于 FS、FA、SFA、AL 而言,土壤湿度对土壤呼吸速率月变化的解释量随荒漠化程度的加重而逐渐降低。对于 FS、FA 而言, R_s 和 W_{10} 呈显著正相关 ($P < 0.01$),土壤湿度是限制固定沙地植物群落土壤呼吸的重要因子,随土壤湿度的增加,土壤呼吸线性增加;对于 SFA 而言, R_s 随土壤湿度的增加而线性增加,但未达到显著水平;而沙化严重的流动沙地植物群落的土壤呼吸速率对土壤湿度 (W_{10}) 月变化的敏感性较小 (表2),仅随土壤湿度的增加而有轻微增加。

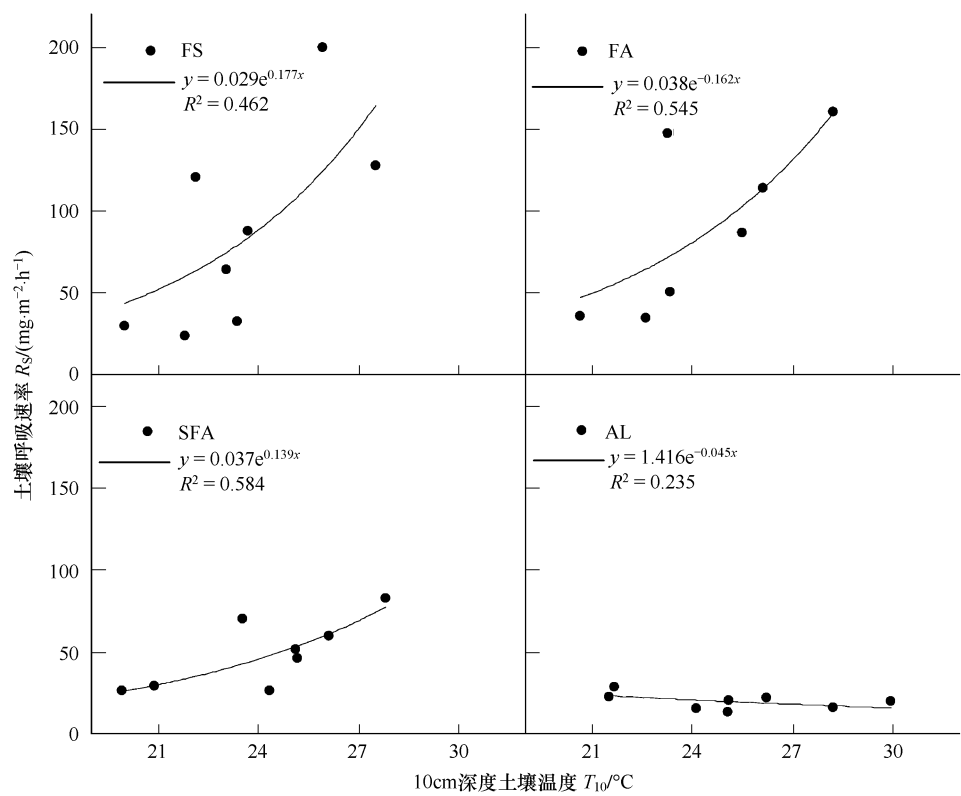


图2 4个植物群落土壤呼吸速率和土壤温度的指数拟合关系

Fig. 2 The relationship between soil respiration rate and soil temperature at 10cm depth for 4 plant communities

固定沙地本氏针茅群落 (FS)、固定沙地油蒿群落 (FA)、半固定沙地油蒿群落 (SFA) 和流动沙地 1 年生植物群落 (AL)

表2 土壤呼吸速率与土壤湿度的回归方程

Table 2 Regression equations of soil respiration rate (R_s) against soil moisture (W_{10})

植物群落 Plant communities	样本数 <i>n</i>	回归方程 Regression equations	R^2	P
固定沙地本氏针茅群落 FS	8	$R_s = 0.07 + 11.38 W_{10}$	0.72	0.000
固定沙地油蒿群落 FA	8	$R_s = 0.70 + 11.01 W_{10}$	0.56	0.001
半固定沙地油蒿群落 SFA	8	$R_s = 0.83 + 6.07 W_{10}$	0.37	0.080
流动沙地 1 年生植物群落 AL	8	$R_s = 0.38 + 0.02 W_{10}$	0.004	0.860

土壤呼吸速率与 W_{10} 、 T_{10} 的回归分析表明: R_s 与 W_{10} 、 T_{10} 的复合模型与单因素方程相比, R^2 值有不同程度的提高, 土壤温度和土壤湿度可以解释土壤呼吸月变化的 69%—87%, 因而可以利用 R_s 与 W_{10} 、 T_{10} 的复合模型来估算生长季土壤呼吸的碳释放量(表 3)。

表3 土壤呼吸速率(R_s)与土壤温度(T_{10})和土壤湿度(W_{10})的回归方程

Table 3 Regression equations of soil respiration rate (R_s), soil temperature(T_{10}) and soil moisture (W_{10})

植物群落 Plant communities	样本数 <i>n</i>	回归方程 Regression equations	R^2	P
固定沙地本氏针茅群落 FS	8	$R_s = -1.52 + 0.06 T_{10} + 8.26 W_{10} + 0.22 T_{10} \times W_{10}$	0.874	0.000
固定沙地油蒿群落 FA	8	$R_s = -3.62 + 0.18 T_{10} + 13.45 W_{10} - 0.08 T_{10} \times W_{10}$	0.814	0.000
半固定沙地油蒿群落 SFA	8	$R_s = 11.76 - 0.44 T_{10} - 84.53 W_{10} + 3.61 T_{10} \times W_{10}$	0.688	0.020
流动沙地一年生植物群落 AL	8	$R_s = -2.34 + 0.12 T_{10} + 28.05 W_{10} - 1.19 T_{10} \times W_{10}$	0.758	0.008

2.4 土壤呼吸速率与根系生物量的关系

根系生物量与土壤呼吸速率具有较为一致的变化规律, 土壤呼吸速率与根系生物量的线性回归分析显示

土壤呼吸速率与根系生物量呈极显著的线性关系,二者的相关性随着荒漠化程度的加重而增大,表明根系生物量对土壤呼吸速率的影响增大(表4)。

表4 土壤呼吸速率(R_s)与根系生物量(Br)的回归方程

Table 4 Regression equations of soil respiration rate (R_s) against root biomass (Br)

植物群落 Plant communities	样本数 n	回归方程 Regression equations	R^2	P
固定沙地本氏针茅群落 FS	15	$R_s = 42.83 + 0.17Br$	0.48	0.002
固定沙地油蒿群落 FA	15	$R_s = 39.93 + 0.12Br$	0.61	0.000
半固定沙地油蒿群落 SFA	15	$R_s = 13.98 + 0.25Br$	0.72	0.000
流动沙地1年生植物群落 AL	15	$R_s = 7.49 + 28.78Br$	0.79	0.000

根据土壤呼吸速率(R_s)与根系生物量(Br)的回归方程所确定的土壤微生物呼吸速率在 FS、FA、SFA 依次减小,根系呼吸在土壤呼吸中所占比例逐渐增大。流动沙地微生物呼吸速率最低,仅为 $7.49 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,但是在土壤呼吸中所占的比例却最高,达 54.14%。随着荒漠化程度的加重,根系呼吸和微生物呼吸都不同程度的降低(表5)。

表5 根系呼吸和土壤微生物呼吸在土壤呼吸中所占的比例

Table 5 Root contribution to soil respiration in different plant communities

植物群落 Plant communities	土壤呼吸 Soil respiration $/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	根系呼吸 Root respiration $/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	微生物呼吸 microorganism respiration $/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1})$	根系呼吸/土壤呼吸/% Root respiration/ Soil respiration /%
固定沙地本氏针茅群落 FS	88.13	45.30	42.83	51.40
固定沙地油蒿群落 FA	99.79	59.86	39.93	59.99
半固定沙地油蒿群落 SFA	47.95	33.97	13.98	70.85
流动沙地1年生植物群落 AL	13.82	6.33	7.49	45.86

2.5 草地荒漠化过程中碳固持的变化

主要生长季(5—9月)固定沙地生态系统净生产力为正,半固定沙地和流动沙地生态系统净生产力为负,表明随荒漠化程度的加重,生态系统逐渐由碳汇向碳源转变。其次,本氏针茅群落的 NEP 显著高于油蒿群落,是较油蒿群落更高的碳汇(表6)。

表6 主要生长季(5—9月)生态系统碳固持

Table 6 Carbon fixation from May to September in four plant communities (g/m^2)

植物群落 Plant communities	地上净生产碳 Net aboveground carbon accumulation	根系净生产碳 Net root carbon accumulation	微生物呼吸 microorganism respiration	净生态系统生产力 Net ecosystem production
固定沙地本氏针茅群落 FS	42.56 ± 8.84	150.88 ± 15.49	157.28	+36.16
固定沙地油蒿群落 FA	78.11 ± 15.14	87.05 ± 16.99	146.60	+18.56
半固定沙地油蒿群落 SFA	31.39 ± 1.34	8.64 ± 1.42	51.32	-11.29
流动沙地1年生植物群落 AL	4.98 ± 1.55	0.01 ± 0.005	27.48	-22.49

3 讨论

3.1 土壤呼吸速率的影响因子

土壤呼吸速率主要由温度、湿度、光合产物生产的共同作用所驱动,主要控制因子随生态系统类型和气候类型不同而有所不同^[19]。在中国温带干旱、半干旱草地,土壤水分状况是调节微生物生物量、微生物呼吸过程及其对气候变化响应的重要因素^[20],是影响土壤呼吸强度的主要因子^[21]。本研究中土壤湿度是影响固定沙地植物群落(FS和FA)土壤呼吸速率月变化的主要因子之一,在相对干旱的5月,土壤湿度的限制作用尤

为明显,干旱胁迫在一定程度上降低了土壤呼吸速率对土壤温度的响应^[22],这与李玉强等在科尔沁沙地的研究结果是一致的^[23]。对于 SFA 和 AL,土壤呼吸速率的月变化与土壤湿度的相关性较小且不显著。相对于 FS 和 FA,SFA 和 AL 表层土壤质地较粗,持水力较低,0—10cm 土层中土壤含水量低且土壤含水量的季节变率较小^[24],这可能是导致 SFA 和 AL 土壤呼吸速率月变化与土壤湿度不存在显著相关性的主要原因。

研究发现,FS、FA 和 SFA 的土壤呼吸速率与土壤温度呈正相关,这与李玉强等^[23]在科尔沁沙地的研究结果是一致的。根据土壤呼吸速率与土壤温度的月变化计算所得的 Q_{10} 值随荒漠化程度的加重而减小,即土壤呼吸速率对温度的敏感性随荒漠化的加重而减小。流动沙地植物群落生长季的土壤呼吸速率与土壤温度呈显著负相关。随荒漠化程度的加重,干旱胁迫会在一定程度上降低土壤呼吸速率对土壤温度的响应,土壤湿度的限制作用可能是导致土壤呼吸速率的温度敏感性降低,土壤呼吸速率与土壤温度在流动沙地呈现负相关关系的重要原因。

3.2 荒漠化对毛乌素沙地土壤呼吸速率的影响

毛乌素沙地荒漠化过程中物种数显著减少,植被盖度降低,群落结构发生改变,地上生物量、根系生物量均显著降低,土壤含水量下降,地表辐射增强,环境因子的变化势必会影响土壤呼吸的变化。本研究表明毛乌素沙地在荒漠化过程中,生长季平均土壤呼吸速率和土壤呼吸速率日变幅和月变幅由大到小依次为:FA、FS、SFA、AL,随荒漠化程度的加重而显著降低,相对于 FS,SFA 和 AL 的平均土壤呼吸速率降低了 45.3% 和 82.6%,这与赵哈林等^[11]在科尔沁沙地的研究结果类似,荒漠化的加剧使得沙地的日均土壤呼吸速率显著降低,也导致土壤呼吸速率对环境条件日变化和季节变化的敏感性降低。根系呼吸和微生物呼吸是土壤呼吸的主要组成部分,毛乌素沙地荒漠化过程中,根系呼吸和微生物呼吸都出现不同程度的降低:(1)荒漠化过程中,细菌、真菌及微生物总量表现为固定沙地>半固定沙地>流动半流动沙丘。其中,固定沙地、半固定沙地的微生物总量分别是流动半流动沙丘的 3.03 倍、2.20 倍^[25]。微生物数量和活力的显著降低反映了土壤物质的代谢强度减弱,从而导致土壤微生物呼吸减小;(2)微生物呼吸与土壤有机碳含量呈线性正相关关系,以风沙活动为主要特征的土地荒漠化可以导致土壤有机质和养分大量流失^[26],进而影响土壤中的生物数量和活性,这也是导致微生物呼吸下降的重要原因;(3)根系呼吸和微生物呼吸都依赖于初级生产力,荒漠化过程导致植物群落地上生物量和根系生物量以及生态系统生产力显著降低,势必会导致根系呼吸降低;(4)土壤湿度是影响土壤呼吸的重要因子。草地荒漠化过程中,随群落盖度逐渐减小,土壤质地和机械组成发生变化,沙粒含量增加,有机质含量减少,土壤持水力下降,0—10cm 土层中土壤含水量明显减小^[27],从而导致土壤呼吸下降。

土壤呼吸是表征土壤质量和土壤肥力的重要生物学指标,在一定程度上反映了土壤的氧化和转化能力。毛乌素沙地荒漠化不同阶段土壤呼吸速率显著降低,表明毛乌素沙地土壤物质的代谢强度降低,土壤质量和健康状况恶化。

3.3 荒漠化对毛乌素沙地碳固持的影响

土壤碳库是受人类活动影响较大的碳库,同时也是对大气碳库影响最大的碳库之一^[2],土壤碳库对于大气碳库是碳“源”还是碳“汇”主要取决于土地利用方式、植被类型以及土地管理方式等^[28]。由于放牧、开垦等人类活动导致的荒漠化是干旱区主要的土地退化形式,它的发生和发展对干旱区土壤碳循环有着重要影响。持续过度的放牧行为可导致土地覆盖率显著降低,从而进一步加剧土壤风蚀,使得土壤有机碳、氮含量下降,生物活性减弱^[29]。本研究对生长季毛乌素沙地的碳收支情况进行了初步估算,结果表明固定沙地的本氏针茅群落和油蒿群落是大气 CO_2 的碳“汇”,随着荒漠化程度的加重,沙地的碳汇功能也随之降低。当群落的逆行演替进展到半固定沙地最终演变为流动沙地时,沙地的碳汇功能逐渐降低最终转为大气 CO_2 碳“源”。这进一步证实了荒漠化会促进土壤有机碳和无机碳的矿化,导致土壤碳库的降低,进而加剧温室效应的结论^[3]。反之,本文研究结果亦显示加强荒漠化土地治理,促进荒漠化草地植被恢复和重建,不仅可以改善当地生态环境,同时对于荒漠化地区碳库的恢复和碳固持的稳定发展具有重要意义。有证据表明草地沙化会导

致土壤碳储量降低^[30],而这个过程是可能逆转的^[31]。因此,在半干旱区通过植被的恢复重建增加土壤碳储量以降低大气 CO₂浓度的方法是可行的。Duan 等使用遥感数据分析了我国不同时期土地荒漠化和恢复治理的情况,并计算了荒漠化土壤有机碳储量的动态,认为我国荒漠化土地还有很大的固碳潜力^[32]。2003 年我国草地沙化和强烈沙化面积为 450806 km²,约占全国草地面积的 32.9%,如果积极采取合理的措施使得发生沙化的草地向进展演替的方向进行,促进生态系统碳固持,我国干旱、半干旱区生态系统的固碳能力还有很大的提升空间^[29],这对于减缓我国温室气体的排放具有积极意义。如能结合遥感大尺度监测数据,本结果可能实现半干旱区碳源汇的定量估算。

References:

- [1] Schimel D S, House J I, Hibbard K A, Bousquet P, Ciais P, Peylin P, Braswell B H, Apps M J, Baker D, Bondeau A, Canadell J, Churkina G, Cramer W, Denning A S, Field C B, Friedlingstein P, Goodale C, Heimann M, Houghton R A, Melillo J M, Moore B, Murdiyarso D, Noble I, Pacala S W, Prentice I C, Raupach M R, Rayner P J, Scholes R J, Steffen W L, Wirth C. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. *Nature*, 2001, 414(6860):169-172.
- [2] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 1992, 44(2):81-99.
- [3] Fan H W, Jia X H, Zhang J G, Ma F Y, Li X R. Influence of soil degradation and desertification on soil carbon cycling in arid zones. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(6):525-533.
- [4] Li L H. Effects of land-use change on soil carbon storage in grassland ecosystems. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4):300-302.
- [5] Lal R. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management*, 2004, 33(4):528-544.
- [6] Zhu Z D, Wu H Z. Combating desertification / land degradation and protecting the environment in China. *Rural Ero-Environment*, 1996, 12(3):1-6.
- [7] Zhang X S. Principles and optimal models for development of MaoWuSu Sandy Grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(1):1-16.
- [8] Huenneke L F, Anderson J P, Remmenga M, Schlesinger W H. Desertification alters patterns of aboveground net primary production in Chihuahuan ecosystems. *Global Change Biology*, 2002, 8(3):247-264.
- [9] Jackson R B, Banner J L, Jobbágy E G, Pockman W T, Wall D H. Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature*, 2002, 418(6898):623-626.
- [10] Jin Z, Dong Y S, Qi Y C, Domroes M. Precipitation pulses and soil CO₂ emission in desert shrubland of *Artemisia ordosica* on the Ordos Plateau of Inner Mongolia, China. *Pedosphere*, 2009, 19(6):799-807.
- [11] Zhao H L, Li Y Q, Zhou R L. Effects of desertification on soil respiration rate and carbon balance in Horqin Sandy Grassland. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(5):809-816.
- [12] Li Y Q, Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Liu X P. Responses of soil respiration to air temperature from June to September in different sand dunes, Horqin Sandy Land. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(2):249-254.
- [13] Wang Q S, Li B. Preliminary study of biomass of *Artemisia ordosica* Community in Ordos Plateau sandland of China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(4):347-353.
- [14] Department of Geography P U, Natural Resources Commission Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Institute of Desert Research Chinese Academy of Sciences, Langhou Institute of Glaciogeology and Gryopedology Chinese Academy of Sciences. *The Natural Condition and Utilizing in Mu Us Area*. Beijing: Science Press, 1983:72-110.
- [15] Shi Z M, Liu S R, Cheng R M. Characteristics of soil carbon and nitrogen of four plant community types in Erdos, Inner Mongolia. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(2):21-27.
- [16] Jia B R, Zhou G S, Wang F Y, Wang Y H, Yuan W P, Zhou L. Partitioning root and microbial contributions to soil respiration in *Leymus chinensis* populations. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(4):653-660.
- [17] Kuzyakov Y. Sources of CO₂ efflux from soil and review of partitioning methods. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(3):425-448.
- [18] Chapin F S, McFarland J, McGuire A D, Euskirchen E S, Ruess R W, Kielland K. The changing global carbon cycle: linking plant-soil carbon dynamics to global consequences. *Journal of Ecology*, 2009, 97(5):840-850.
- [19] Luo Y Q, Zhou X H. *Soil respiration and the environment*. Amsterdam: Academic Press, 2006:67-88.
- [20] Liu W X, Zhang Z, Wan S Q. Predominant role of water in regulating soil and microbial respiration and their responses to climate change in a semiarid grassland. *Global Change Biology*, 2009, 15(1):184-195.

- [21] Niu S L, Wu M Y, Han Y, Xia J Y, Li L H, Wan S Q. Water-mediated responses of ecosystem carbon fluxes to climatic change in a temperate steppe. *New Phytologist*, 2008, 177(1): 209-219.
- [22] Conant R T, Klopatek J M, Klopatek C C. Environmental factors controlling soil respiration in three semiarid ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(1): 383-390.
- [23] Li Y Q, Zhao H L, Zhao X Y, Zhang T H, Yi X Y. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in different sand dune types. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(3): 154-158.
- [24] Zhang G S, Wang L H, Dong Z, Li Y L. The mechanical composition and seasonal water content of aeolian sandy soil in Mu Us Sandy Area. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(2): 145-150.
- [25] Xu D M, Wang K. Characteristics of soil microbe in southern ecotone of Mu Us Sandy Land. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(5): 805-808.
- [26] Zhao H L, Zhou R L, Su Y Z, Li Y Q. Changes of soil organic C and total N contents as affected by desertification in Horqin Sand Land, North China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 976-982.
- [27] Zhang J, Huang Y M, Jiao H J, Xia X D. Ecophysiological characteristics of *Artemisia ordosica* community succession in Mu Us Sandy Grassland. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(6): 977-983.
- [28] Wang H T, Zhang Y T, He X D, Gao Y B, Xue P P, Zhang N. Litterfall and decomposition of biomass and soil respiration of *Artemisia Ordosica* Communities in arid region. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(3): 455-459.
- [29] Su Y Z, Li Y L, Cui J Y, Zhao W Z. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China. *Catena*, 2005, 59(3): 267-278.
- [30] Li Y Q, Zhao H L, Yi X Y, Zuo X A, Chen Y P. Dynamics of carbon and nitrogen storages in plant-soil system during desertification process in Horqin Sandy Land. *Environmental Science*, 2006, 27(4): 636-640.
- [31] Quine T A, van Oost K. Quantifying carbon sequestration as a result of soil erosion and deposition: retrospective assessment using caesium-137 and carbon inventories. *Global Change Biology*, 2007, 13(12): 2610-2625.
- [32] Duan Z H, Xiao H L, Dong Z B, He X D, Wang G. Estimate of total CO₂ output from desertified Sandy Land in China. *Atmospheric Environment*, 2001, 35(34): 5915-5921.

参考文献:

- [3] 樊恒文, 贾晓红, 张景光, 马风云, 李新荣. 干旱区土地退化与荒漠化对土壤碳循环的影响. *中国沙漠*, 2002, 22(6): 525-533.
- [4] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响. *植物生态学报*, 1998, 22(4): 300-302.
- [6] 朱震达, 吴焕忠. 中国土地荒漠化/土地退化的防治与环境保护. *农村生态环境*, 1996, 12(3): 1-6.
- [7] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式. *植物生态学报*, 1994, 18(1): 1-16.
- [11] 赵哈林, 李玉强, 周瑞莲. 沙漠化对科尔沁沙质草地土壤呼吸速率及碳平衡的影响. *土壤学报*, 2009, 46(5): 809-816.
- [12] 李玉强, 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 刘新平. 科尔沁沙地夏秋(6—9月)季不同类型沙丘土壤呼吸速率对气温变化的响应. *中国沙漠*, 2008, 28(2): 249-254.
- [13] 王庆锁, 李博. 鄂尔多斯沙地油蒿群落生物量初步研究. *植物生态学报*, 1994, 18(4): 347-353.
- [14] 北京大学地理系, 中国科学院自然资源综合考察委员会, 中国科学院兰州沙漠研究所, 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 毛乌素沙区自然条件及其改良利用. 北京: 科学出版社, 1983: 72-110.
- [15] 史作民, 刘世荣, 程瑞梅. 内蒙古鄂尔多斯地区四个植物群落类型的土壤碳氮特征. *林业科学*, 2004, 40(2): 21-27.
- [23] 李玉强, 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 移小勇. 土壤温度和水分对不同类型沙丘土壤呼吸的影响. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(3): 154-158.
- [24] 张国盛, 王林和, 董智, 李玉灵. 毛乌素沙区风沙土机械组成及含水率的季节变化. *中国沙漠*, 1999, 19(2): 145-150.
- [25] 许冬梅, 王堃. 毛乌素沙地南缘生态过渡带土壤微生物特征. *中国沙漠*, 2007, 27(5): 805-808.
- [26] 赵哈林, 周瑞莲, 苏永中, 李玉强. 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量变化. *生态学报*, 2008, 28(3): 976-982.
- [27] 张军, 黄永梅, 焦会景, 夏显东. 毛乌素沙地油蒿群落演替的生理生态学机制. *中国沙漠*, 2007, 27(6): 977-983.
- [30] 李玉强, 赵哈林, 移小勇, 左小安, 陈银萍. 沙漠化过程中科尔沁沙地植物-土壤系统碳氮储量动态. *环境科学*, 2006, 27(4): 635-640.

CONTENTS

Influences of elevated ozone on growth and C, N, S allocations of rice	ZHENG Feixiang, WANG Xiaoke, HOU Peiqiang, et al (1479)
Coexistence, biodiversity and roles of ammonia-oxidizing archaea and anaerobic ammonium-oxidizing bacteria in deep soil layer of high nitrogen loaded paddy field	WANG Yu, ZHU Guibing, WANG Chaoyu, et al (1487)
The impact of interannual climate variability on the mean global vegetation distribution	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (1494)
Labile and recalcitrant carbon and nitrogen pools of an alpine meadow soil from the eastern Qinghai-Tibetan Plateau subjected to experimental warming and grazing	WANG Bei, SUN Geng, LUO Peng, et al (1506)
The structure and species diversity of plant communities in ecological safety islands of urban Guangzhou	MO Dan, GUAN Dongsheng, HUANG Kangyou, et al (1515)
The growth pattern of <i>Pinus elliottii</i> Plantation in central subtropical China	MA Zeqing, LIU Qijing, WANG Huimin, et al (1525)
The effect of two wetland plants on nitrogen and phosphorus removal from the simulated paddy field runoff in two small-scale Subsurface Flow Constructed Wetlands	LIU Shuyuan, YAN Baixing, WANG Lixia (1538)
Effect of simulated nitrogen deposition on nutrient release in decomposition of several litter fractions of two bamboo species	TU Lihua, HU Tingxing, ZHANG Jian, et al (1547)
Ecological monitoring of bryophytes for mercury pollution in Danzhai Mercury Mine Area, Guizhou Province, China	LIU Rongxiang, WANG Zhihui, ZHANG Zhaohui (1558)
Influence of silt deposition and sand deposition on <i>Cynodon dactylon</i> population in low-water-level-fluctuating zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, DING Wuquan, ZHU Qihong, et al (1567)
Seed production of <i>Spartina alterniflora</i> and its response of germination to temperature at Chongming Dongtan, Shanghai	ZHU Zhenchang, ZHANG Liquan, XIAO Derong (1574)
Effects of decomposition of mixed leaf litters of the <i>Castanopsis platyacantha</i> - <i>Schima sinensis</i> forest on soil organic carbon	ZHANG Xiaopeng, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (1582)
Effects of desertification on soil respiration and ecosystem carbon fixation in Mu Us sandy land	DING Jinzhi, LAI Liming, ZHAO Xuechun, et al (1594)
The spatial distribution of soil organic carbon and its influencing factors in hilly region of the Loess Plateau	SUN Wenyi, GUO Shengli (1604)
Effects of interspecific interactions and nitrogen fertilization rates on above- and below- growth in faba bean/maze intercropping system	LI Yuying, HU Hansheng, CHENG Xu, et al (1617)
Effects of supplemental irrigation based on measured soil moisture on nitrogen accumulation, distribution and grain yield in winter wheat	HAN Zhanjiang, YU Zhenwen, WANG Dong, et al (1631)
Anti-soil background capacity with vegetation biochemical component spectral model	SUN Lin, CHENG Lijuan (1641)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin of <i>Hippophae rhamnoides</i> L in farming-pastoral zone from the two northern provinces of China	HE Xueli, CHEN Cheng, HE Bo (1653)
Study on optimum forest coverage for water conservation: a case study in Pingtonghe watershed (Pingwu section)	ZHU Zhifang, GONG Gutang, CHEN Junhua, et al (1662)
Spatial point analysis of fire occurrence and its influence factor in Huzhong forest area of the Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province, China	LIU Zhihua, YANG Jian, HE Hongshi, et al (1669)
Combustion efficiency of small-scale meadow fire in Daxinganling Mountains	WANG Mingyu, SHU Lifu, SONG Guanghui, et al (1678)
Community structure of demersal fish in Nature Reserve of <i>Acipenser sinensis</i> in Yangtze River estuary	ZHANG Tao, ZHUANG Ping, ZHANG Longzhen, et al (1687)
Behavioral responses of the Common Coots (<i>Fulica atra</i>) and other swimming birds to human disturbances	ZHANG Weiwei, MA Jianzhang, LI Jinbo (1695)
Effects of photoperiod on body mass, organ masses and energy metabolism in Chinese bulbul (<i>Pycnonotus sinensis</i>)	NI Xiaoying, LIN Lin, ZHOU Feifei, et al (1703)
Larval host types for the 3 rd <i>Helicoverpa armigera</i> in Bt cotton field from North China determined by $\delta^{13}\text{C}$	YE Lefu, FU Xue, XIE Baoyu, et al (1714)
Selectivity of <i>Frankliniella occidentalis</i> to vegetable hosts	YUAN Chengming, ZHI Junrui, CAO Yu, et al (1720)
Genetic structure of <i>Pine caterpillars</i> (<i>Dendrolimus</i>) populations based on the analysis of Cyt b gene sequences	GAO Baojia, ZHANG Xuwei, ZHOU Guona, et al (1727)
Pricing method and application effects of biogas slurry	ZHANG Changai, LIU Ying, CAO Man, WANG Yanqin, et al (1735)
Effects of compost from municipal solid waste on ecological characteristics and the quality of different turfgrass cultivars	ZHAO Shulan, LIAN Fei, DUO Li'an (1742)
Degradation kinetics and bioavailability of pentachlorophenol in paddy soil-rice plant ecosystem	WANG Shisheng, LI Depeng (1749)
Review and Monograph	
Concepts and techniques of landscape genetics	XUE Yadong, LI Li, WU Gongsheng, ZHOU Yue (1756)

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 6 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 6 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 许可证	京海工商广字第 8013 号		

