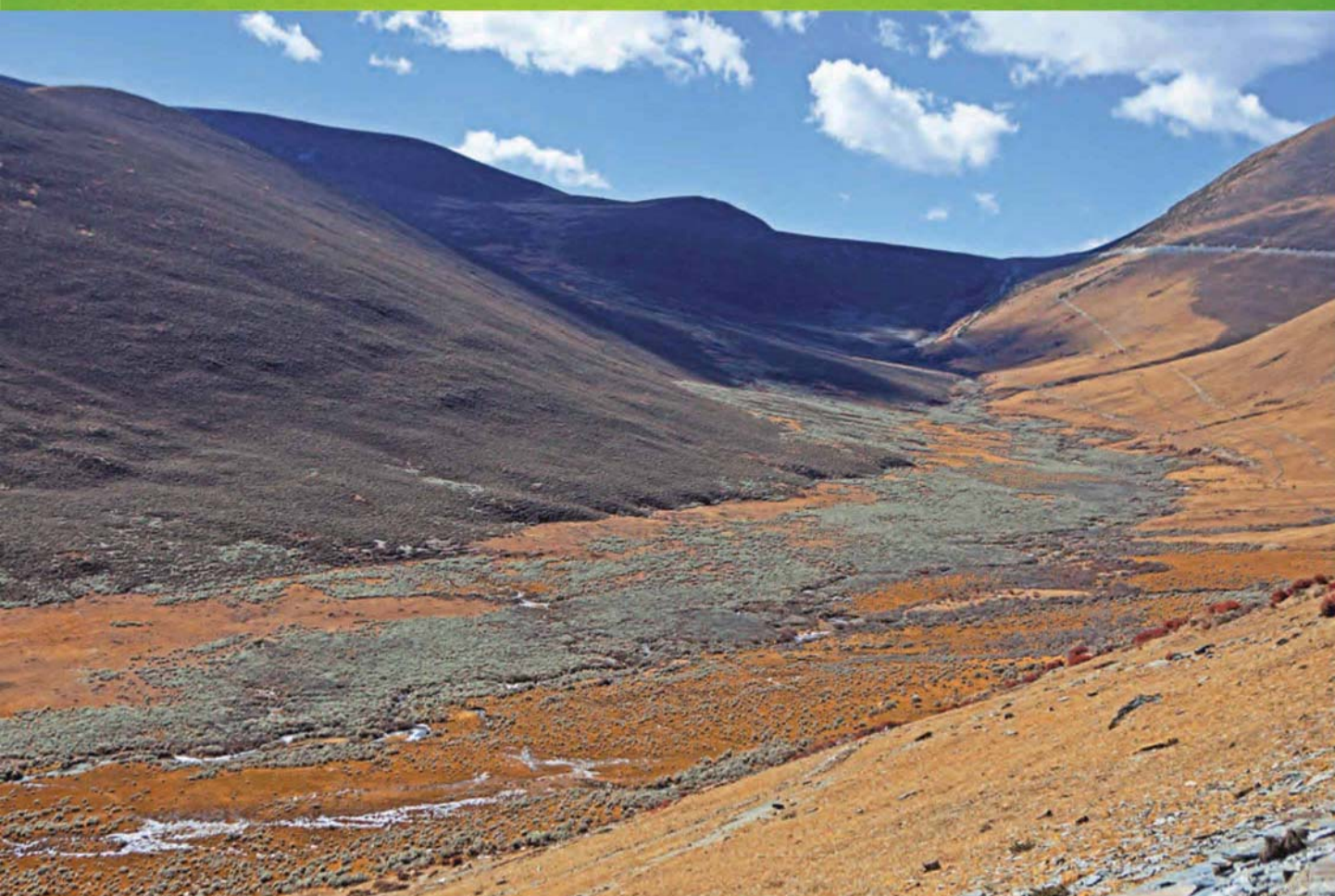


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 18 期

2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮,吕光辉,杨晓东,等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征.....	温远光,雷丽群,朱宏光,等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联.....	刘金福,朱德煌,兰思仁,等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系.....	王文君,杨万勤,谭 波,等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态.....	范跃新,杨玉盛,杨智杰,等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟,雷加强,徐新文,等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征.....	戴年华,邵明勤,蒋丽红,等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响.....	陈 纯,李思嘉,肖利娟,等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构.....	刘沙沙,贾沁贤,刘喜方,等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律.....	潘 影,徐增让,余成群,等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征.....	姚 昕,朱广伟,高 光,等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究.....	王传辉,吴 立,王心源,等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国,杨 鹏,唐华俊,等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应.....	谢冬明,金国花,周杨明,等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征.....	王 超,李新辉,赖子尼,等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全,王 成,邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例.....	周 健,肖荣波,庄长伟,等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究.....	范敬龙,刘海龙,雷加强,等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强,唐 宏,杨德刚,等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例.....	魏 超,叶属峰,过仲阳,等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君,徐汉祥,王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化.....	江志兵,刘晶晶,李宏亮,等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例.....	刘耕源,杨志峰,陈 彬,等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例.....	徐 飞,蔡体久,琚存勇,等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿.....	李惠梅,张安录,王 珊,等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应.....	李春林,刘 淼,胡远满,等 (5952)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地,沟谷地带由于低平且水分较充足,生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线,以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统,高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明,易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关,显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而,这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201304070615

赵哈林, 曲浩, 周瑞莲, 赵学勇, 云建英, 李瑾, 王进. 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5574-5579.

Zhao H L, Qu H, Zhou R L, Zhao X Y, Yun J Y, Li J, Wang J. Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of *Agriophyllum squarrosum* seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5574-5579.

沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响

赵哈林^{1,*}, 曲浩¹, 周瑞莲², 赵学勇¹, 云建英¹, 李瑾¹, 王进²

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 鲁东大学生命学院, 烟台 264025)

摘要:沙米(*Agriophyllum squarrosum*)是藜科沙蓬属 1 年生沙生植物,广泛分布于我国各主要沙漠和沙地中。为了解沙埋对沙米生长、存活和光合蒸腾特性影响,2010—2011 年在科尔沁沙地研究了不同沙埋深度下沙米幼苗高度、存活率、光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率的变化,结果表明:沙米具有极强的耐沙埋能力。埋深为株高 25% 时,沙米幼苗存活率和株高显著增加,埋深为株高 50%—100% 时,其株高和存活率虽有下降,但与非沙埋对照差异不显著。当沙埋深度超过株高后,其株高和存活率急剧下降,但沙埋达到株高 266% 时仍然有部分幼苗存活。沙埋第 5 天,随着沙埋深度的增加,沙米幼苗的光合速率缓慢下降,蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率均呈波动式变化。随着沙埋时间的延长,和对照相比,沙米幼苗的光合速率、蒸腾速率和气孔导度均随沙埋深度增加而大幅度下降,但水分利用效率仍呈波动式变化。沙埋第 15 天时其光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率分别较非沙埋对照下降了 86.7%、89.0%、90.0% 和 4.2%。相关分析表明,沙米幼苗的存活率和高生长与其光合速率、蒸腾速率、气孔导度变化呈显著正相关,而其光合速率、蒸腾速率、气孔导度之间也呈显著正相关,但与水分利用效率的相关性未达到显著水平。沙埋胁迫下沙米幼苗存活率下降和生长抑制不仅源于沙埋造成幼苗顶土困难和光合面积减少,光合速率、蒸腾速率和气孔导度下降也是重要原因。

关键词:沙生植物; 沙米; 沙埋处理; 生长特性; 光合速率、蒸腾速率

Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of *Agriophyllum squarrosum* seedlings

ZHAO Halin^{1,*}, QU Hao¹, ZHOU Ruilian², ZHAO Xueyong¹, YUN Jianying¹, LI Jin¹, WANG Jin²

¹ Cold and Arid Regions Environment and Engineering Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

² Faculty of Life Sciences, Ludong University, Yantai 264025, China

Abstract: *Agriophyllum squarrosum* is an annual psammophyte species and widely distributed in all deserts and sand lands in China. Changes of plant height, survival rate, photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr), stomatal conductance (G_s) and water use efficiency (WUE) of *A. squarrosum* seedlings was measured in a sand burial experiment during 2010—2011 in Horqin Sand Land of Inner Mongolia to understand effect of sand burial on the growth, photosynthesis and transpiration of annual psammophyte seedlings. The experiment included ten burial treatments: buried to 0% (CK, no burial), 25% (A), 50% (B), 75% (C), 100% (D), 133% (E), 166% (F), 200% (G), 233% (H) and 266% (I) of seedling height. The results showed that *A. squarrosum* had a strong ability to withstand sand burial. The survival rate and the plant height of *A. squarrosum* seedlings increased significantly at 25% burial depth of the seedling height. When subjected to sand burial at 50%—100%, the difference was not significant between the sand-buried treatments and the none-sand buried CK although the plant height and the survival rate decreased. The survival rate and the plant height decreased significantly only when the burial depth exceeded the height of the seedlings, but some individuals still kept survived when the burial depth was 266% of the seedling height. Buried by sand to the fifth day, the photosynthesis rate of *A. squarrosum* seedlings decreased slowly, the transpiration rate and the stomatal conductance and the water use efficiency

基金项目:国家自然科学基金课题 (30972422, 31270752); 国家科技支撑项目 (2011BAC07B02); 国家 973 课题 (2009CB421303) 资助

收稿日期:2013-04-07; **修订日期:**2013-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: resdiv@lzb.ac.cn

fluctuated greatly with the increase of sand burial depth. The photosynthesis rate and the water use efficiency decreased by 14.6% and 19.2%, and the transpiration rate, the stomatal conductance increased by 3.0% and 3.7% in the I treatment than that in the CK, respectively. With the prolongation of sand burial time, the photosynthesis rate, the transpiration rate and the stomatal conductance decreased significantly, but the water use efficiency was still fluctuated with increase of sand burial depth. Buried in sand to the tenth day, the photosynthesis rate, the transpiration rate, the stomatal conductance and the water use efficiency decreased by 89.7%, 84.4%, 85.7% and 54.0% in the I treatment than that in the CK, respectively. Buried in sand to the fifteenth day, the photosynthesis rate, the transpiration rate, the stomatal conductance and the water use efficiency decreased by 86.7%, 90.0%, 89.0% and 4.2% in the I treatment than that in the CK, respectively. Correlation analysis suggested that the survival rate and the seedling height had significant and positive correlations with the photosynthesis rate, the transpiration rate, the stomatal conductance and the water use efficiency. There were significant positive correlations among the photosynthesis rate, the transpiration rate and the stomatal conductance, but the correlation was not significant between them and the water use efficiency. It was concluded that sustained severe burial by sand had a significant damage to survival and growth of *A. squarrosus* seedlings. The decrease of the survival rate and the plant height in *A. squarrosus* seedlings were resulted not only from emergence difficult and decrease of photosynthetic area under sand burial stress, but also from decrease of the photosynthetic rate, the transpiration rate and the stomatal conductance.

Key Words: *A. squarrosus*; sand burial treatment; growth properties; photosynthetic rate; transpiration rate

风蚀风积是沙漠、沙地和沙漠化地区的一种普遍现象^[1]。特别是风沙活动强烈的流动半流动沙丘地区,植物常要遭受强烈沙埋的危害^[1-2]。关于沙埋对植物影响的研究,国内外已有很多报道,目前研究焦点主要集中于沙埋对植物种子萌发和出土、幼苗存活和生长、植物形态与繁殖、生物量和养分分配的影响等方面^[2-6]。另外,也有少量关于沙埋对植物解剖结构和幼苗气体交换影响的研究报道^[7-8]。但迄今为止,有关沙埋对植物光合蒸腾特征的影响及其与植物存活、生长关系的研究还鲜有报道。沙米(*Agriophyllum squarrosum*)是藜科沙蓬属的一年生沙生植物,广泛分布于我国北方各大沙漠或沙地中,是流动半流动沙地分布最广的优势植物之一,对于促进我国沙漠植被的恢复具有重要意义^[9]。研究沙埋对沙米幼苗生态的影响及其生理响应,对于揭示沙生植物对沙漠极端环境的适应机制具有重要意义。因此,于2010—2011年在内蒙古科尔沁沙地,以沙米为对象,通过不同深度的沙埋试验,研究了沙埋对沙米幼苗存活、生长、光合、蒸腾特征的影响,以期为该区退化植被的恢复重建提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于内蒙古通辽市奈曼旗境内,地处科尔沁沙地腹地(42°55′—42°57′N, 120°41′—120°45′E, 海拔340—370 m)。该区属温带半干旱大陆性气候,年均降水量356.9 mm,年均蒸发量1 900 mm,年均气温6.5℃,≥10℃年积温3 190℃,无霜期151 d。年平均风速3.4 m/s,年平均扬沙天气20—30 d。地貌以高低起伏的沙丘地和平缓草甸或农田交错分布为特征,土壤多为风沙土或沙质草甸土。天然植物群落以中旱生植物为主,主要植物种有沙米、狗尾草(*Setaria viridis*)、大果虫实(*Corispermum marocarpum*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等。

1.2 试验设计

试验地设置于中国科学院奈曼沙漠化研究站的水分平衡场内。其水分平衡场由数个大小为2 m×2 m×2 m无底水泥池构成,池内填有风沙土。沙米种子采自于2009年秋季,2010年4月将种子条播于水泥池内。为保证出苗,播种后每3—5 d用喷壶浇1次水,每次浇水量500 mL,以保持沙面经常湿润。出苗后,进行间苗,每个水泥池分别保留适量长势相似的幼苗。于5月中旬风沙活动强烈期对试验材料进行沙埋处理,沙子均来源于当地的流动沙丘,此时幼苗平均株高为(6.0±0.2) cm。根据当地风沙活动规律和植物经常遭受沙埋的深度,试验设计为10个处理,沙埋深度分别为株高的0%(CK)、25%(A)、50%(B)、75%(C)、100%(D)、133%(E)、166%(F)、200%(G)、233%(H)和266%(I)。沙埋时,先在池内插入带有刻度的木桩,然后根据木桩刻度小心将沙子埋至设计深度。试验采用随机区组排列,每个处理4个重复(4个池子)。沙埋后浇一次透水后不再浇水,靠自然降水补充其土壤水分。

1.3 测定内容与方法

试验期间,每天对沙埋处理后的幼苗叶片进行观察,记录萎蔫及死亡情况。对于埋深超过株高的处理,小心扒开覆沙进行

观察,观察完毕后再小心将沙子覆上。在沙埋后的第5、10、15天左右,选择晴朗无风的日子,用便携式光合分析系统(LI-6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA),使用开路测定系统,在9:00—11:00连续测定植物的叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(g_s)、蒸腾速率(T_s)。测定时,每棵植物选取植物上部叶片(选取沙上叶片,全埋处理拨开覆沙)进行活体测定,测定不同植株上的3—5片叶子,每片叶子读取仪器稳定后的5个数据,计算平均值。另外,在8月底植物生长末期,对其存活率和株高等指标进行测量。

1.4 数据分析方法

应用SPSS13.1软件进行数据的统计分析,采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异,用Pearson相关系数评价不同因子间的相互关系,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 沙米幼苗存活率和株高的变化

随着沙埋深度的增加,沙米幼苗存活率和株高均表现为先升高后下降(图1)。其中,A处理的幼苗存活率和株高分别较CK提高36.3%和13.3%,与CK的差异达到显著水平($P < 0.05$),B处理至F处理,其存活率较CK有所下降,但与CK的差异未达到显著水平($P > 0.05$)。从G处理到I处理,其存活率大幅度下降,显著低于CK($P < 0.05$)。从B处理至D处理,沙米幼苗株高虽较CK有所降低,但差异未达到显著水平($P > 0.05$),E处理至I处理幼苗株高显著低于CK($P < 0.05$),其中I处理株高较CK下降41.3%。

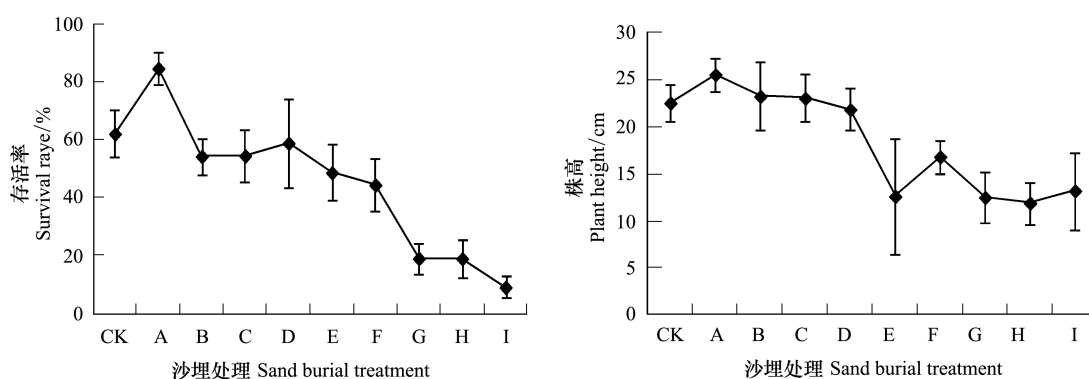


图1 不同沙埋处理下幼苗存活率和株高的比较

Fig.1 Comparison in survival rate and seedling height among different treatments

CK、A、B、C、D、E、F、G、H和I的埋深分别为株高的0%、25%、50%、100%、133%、166%、200%、233%和266%

2.2 光合速率的变化

图2是不同沙埋处理下第5天、第10天和第15天沙米幼苗光合速率变化曲线。可以看出,随着沙埋深度的增加,3次测定的植物净光合速率均呈下降趋势。其中,沙埋第5天的净光合速率在A处理略有增加,之后缓慢下降,从G处理又略有增加,总体变化幅度较小,最小值较对照仅下降24.6%。沙埋后第10天和第15天,沙米幼苗的净光合速率均随沙埋深度增加而显著下降($P < 0.05$),和CK相比I处理的净光合速率分别下降了89.9%和86.7%。其中,从B处理至G处理,沙埋第15天的净光合速率下降幅度要明显低于第10天,而在H和I处理二者之间差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 叶片气孔导度的变化

图3是沙埋处理下不同时间测定的气孔导度的变化曲线。可以看出,随着沙埋深度的增加,3条变化曲线存在较大差异。其中,沙埋第5天,从A处理至F处理沙米幼苗气孔导度显著下降($P < 0.05$),而G处理至I处理的气孔导度又大幅度回升,使之与CK的差异不显著($P > 0.05$)。沙埋第10天和15天的气孔导度变化较为相近,均是随着沙埋深度增加显著下降($P < 0.05$),在I处理其气孔导度分别下降了86%和91%。不同之处是在B处理至D处理,第10天的气孔导度下降幅度要显著低于第15天($P < 0.05$),并在C处理有一个小幅回升。

2.4 植物蒸腾速率的变化

由图4可以看出,沙埋第5天沙米幼苗的蒸腾速率随着沙埋深度的增加呈现先升后降的变化趋势。其中,在A处理时达到最大(为 $9.48 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),在B至F处理一直维持在较低水平,从G处理又有明显回升。沙埋后的第10天和第15天,沙米幼苗的蒸腾速率随着埋深的增加而显著下降,至I处理时其蒸腾速率分别只有 1.46 和 $0.93 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,分别较对照下降了82.5%和88.5%。比较3条曲线可以发现,各处理第10天和第15天的蒸腾速率差异不显著($P > 0.05$),但显著低于第5天的蒸腾速率($P < 0.05$)。

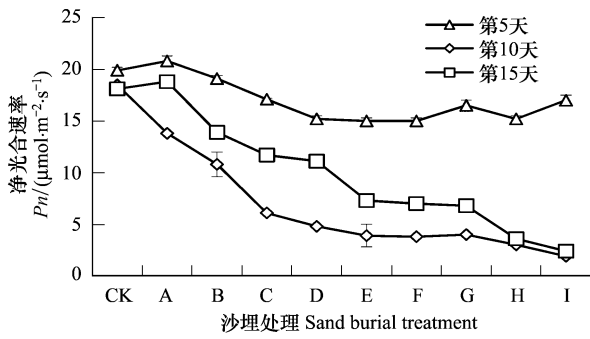


图 2 不同沙埋处理下净光合速率的比较

Fig.2 Comparison in net photosynthesis rate among different treatments

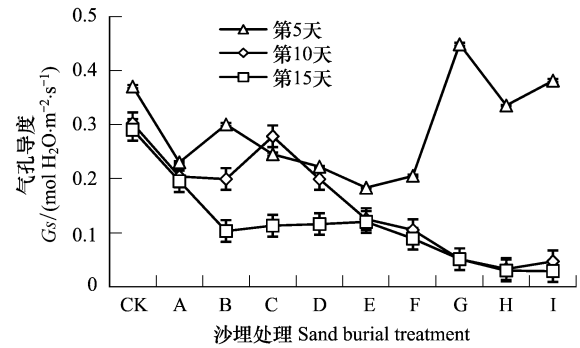


图 3 不同沙埋处理下气孔导度的比较

Fig.3 Comparison in stomatal conductance (G_s) among different treatments

2.5 水分利用效率变化

沙埋后第 5 天,随着沙埋深度的增加,沙米幼苗的水分利用效率(WUE)呈波动式变化(图 5),其变化幅度较小,各处理之间的差异均未达到显著水平($P > 0.05$)。沙埋后第 10 天,其水分利用效率随着沙埋深度的增加先缓慢下降,至 G 处理又有一个大的回升,然后再次下降,但是各处理差异也均未达到显著水平($P > 0.05$)。沙埋后的第 15 天,大部分沙埋处理的水分利用效率均较 CK 有所升高,其中与对照的差异达到显著水平的有 A、B、D、G 等 4 个处理($P < 0.05$)。另外,从图 5 还可以看出,随着沙埋时间的延长,沙米幼苗的水分利用效率是先下降,然后又大幅度回升,即平均水分利用效率是第 15 天>第 5 天>第 10 天。

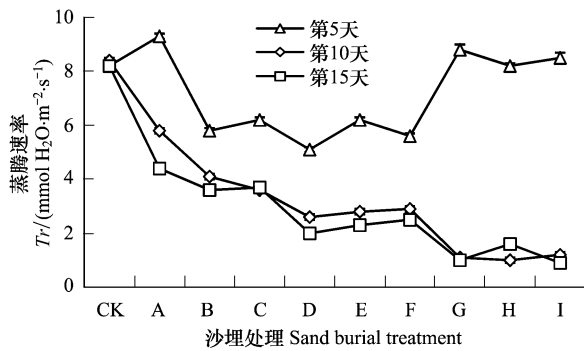


图 4 不同沙埋处理下蒸腾速率的比较

Fig.4 Comparison in transpiration rate (T_r) among different treatments

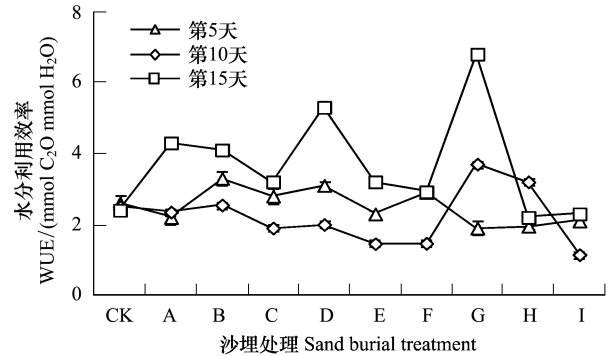


图 5 不同沙埋处理植物水分利用效率比较

Fig.5 Comparison in water use efficiency (WUE) among different treatments

2.6 沙米存活率、株高、光合、蒸腾等因子间的相关性

从表 1 可以看出,沙埋第 5 天,只有株高与光合速率和水分利用效率的相关性达到显著水平($P < 0.05$),而沙埋后第 10 天

表 1 植物存活率、株高、光合蒸腾等因子间相关性

Table 1 Correlation between survival rate, plant height, photosynthesis and transpiration

项目 Items	第 5 天 Fifth day				第 10 天 Tenth day				第 15 天 Fifteen day			
	光合 速率 P_n	气孔 导度 G_s	蒸腾 速率 T_r	水分利 用效率 WUE	光合 速率 P_n	气孔 导度 G_s	蒸腾 速率 T_r	水分利 用效率 WUE	光合 速率 P_n	气孔 导度 G_s	蒸腾 速率 T_r	水分利 用效率 WUE
光合速率 G_s	0.212	1			0.755 *	1			0.878 **	1		
蒸腾速率 T_r	0.473	0.637 *	1		0.767 **	0.838 **	1		0.843 **	0.941 **	1	
水分利用效率 WUE	0.068	-0.479	-0.822 **	1	0.202	-0.121	-0.031	1	0.150	-0.109	-0.280	1
存活率 Survive	0.550	-0.602	-0.210	0.497	0.713 *	0.807 **	0.776 **	-0.125	0.902 **	0.785 **	0.672 *	0.098
株高 Height	0.693 *	-0.331	-0.183	0.663 *	0.734 *	0.873 **	0.744 *	-0.064	0.702 *	0.667 *	0.672 *	0.095

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

和第 15 天沙米幼苗的存活率和株高均与光合速率、气孔导度和蒸腾速率呈显著正相关($P < 0.05$)。从光合与水分关系看,沙埋后第 5 天,只有蒸腾速率与气孔导度变化呈显著正相关,水分利用效率与蒸腾速率呈显著负相关($P < 0.05$)。沙埋后第 10 天和第 15 天,其光合速率与气孔导度、蒸腾速率,以及蒸腾速率与气孔导度均呈显著正相关($P < 0.05$)。

3 讨论和结论

研究结果表明,不同深度的沙埋对沙米幼苗存活率和高生长的影响存在很大差异。其中,25%株高的埋深对沙米幼苗的存活和高生长具有显著促进作用,50%—100%株高的沙埋对沙米幼苗的存活和高生长没有显著影响,其存活率和高生长只有当埋深分别达到株高的 200%和 133%时才会显著下降。但是,埋深为株高 266%时仍有部分幼苗存活。这和杨慧玲等^[10]、赵哈林等^[11]、刘海江等^[12]和 Zhang 等^[13]等人的结果显然不同。他们对无芒雀麦(*Bromus inermis*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、羊柴(*Hedysarum laeve*)等植物的沙埋研究结果表明,虽然在沙埋较浅时这些非沙生植物的存活率和高生长也会有所增加,但当埋深达到株高 100%时其幼苗则全部死亡。这一方面说明,不同深度沙埋对于植物存活和生长的影响有很大不同,其中轻度沙埋对于大多数沙漠植物的存活和生长都可能有一定的促进作用,但完全沙埋则可能对植物的存活和生长造成严重危害;另一方面说明,不同植物的耐沙埋能力有很大差异,非沙生植物耐沙埋能力较弱,一般无法耐受完全沙埋,而沙生植物则具有较强的耐沙埋能力,即使沙埋深度达到幼苗高度 100%时一般也不会对其存活和生长造成明显影响,即使沙埋深度达到株高 266%时仍有部分幼苗存活。这可能也是沙米能够生长于流动半流动沙地,而无芒雀麦、小叶锦鸡儿、中间锦鸡儿等非沙生植物仅能生长于固定、半固定沙地的一个重要原因^[9-12]。

研究结果表明,沙埋对沙米幼苗的光合蒸腾特征也有显著影响。随着沙埋深度的增加,沙米幼苗的光合速率、蒸腾速率和气孔导度均显著下降,而水分利用效率呈波动式缓慢下降。其中,光合速率的下降幅度是第 10 天>第 15 天>第 5 天,而蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率的下降速率均是第 15 天>第 10 天>第 5 天。这和黄立华^[14]有关盐碱胁迫对羊草(*Leymus chinensis*)光合、蒸腾速率及水分利用效率影响的研究结果一致。光合作用是植物生长所需能量的主要来源和物质生产的基础,而蒸腾作用不仅是植物吸收无机盐和运输水分的主要动力,还可降低植物体的温度,使叶子在强光下进行光合作用而不致受害^[15-16]。沙埋胁迫下,沙米幼苗光合速率和蒸腾速率的大幅度下降,不仅意味着其光合、蒸腾系统的受损,也说明其物质生产能力和能量转化效率的减弱,这显然会制约其生长、生存和生物有机质的生产。从动力学角度看,植物的光合作用和蒸腾作用都以太阳能为动力,是两个途径相同,方向相反,同时进行的气体交换过程,而气孔作为气体交换的门户,调节和控制光合速率与蒸腾速率,进而决定了叶片水平上的水分利用效率^[17-18]。相关分析表明,沙埋第 10 天和第 15 天,沙米光合速率变化与蒸腾速率、气孔导度变化,以及蒸腾速率变化与气孔导度变化均呈显著或极显著正相关,与水分利用效率变化相关性没有达到显著水平。这既说明随着沙埋深度的增加,投射到叶片表面光强的逐步减少,抑制了光合作用^[16-17];也说明沙埋胁迫下沙米气孔的开闭采取了主动调节,降低了气孔导度,通过降低蒸腾作用以避免体内水分的过度散失。这和黄玉清等^[19]有关石漠化对任豆树(*Zenia insignis*)、金银花(*Lonicera maackii*)、狗骨木(*Cornus controversa*)光合、蒸腾及水分利用效率的研究结果一致。

以往的研究结果表明,沙埋可以增加根际土壤含水量,降低土壤温度,因而轻度沙埋可以促进幼苗存活和生长,但如果沙埋厚度过大则会导致植物幼苗无法破土而出,加之沙埋叶片无法进行光合作用,光合面积大幅度下降,从而导致植物存活率降低和生长受抑^[1,4,20]。而本研究结果表明,沙米幼苗的高生长和存活率还与其光合速率、蒸腾速率和气孔导度变化呈显著正相关,从而说明遭受沙埋后,其气孔导度下降,光合速率和蒸腾速率降低,也是幼苗死亡和生长受抑的重要原因之一。

References:

- [1] Disraeli D J. The effect of sand deposits on the growth and morphology of *Ammophila Breviligulata*. *Journal of Ecology*, 1984, 72(1): 145-154.
- [2] Benvenuti S, Macchia M, Miele S. Light, temperature and burial depth effects on *Rumex obtusifolius* seed germination and emergence. *Weed Research*, 2001, 41(2): 177-186.
- [3] Zhao W Z, Liu L M. Responses of growth and reproduction of *Sophora moorcroftiana* to altitude and sand-burying in Tibet. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(1): 134-139.
- [4] Brown J F. Effects of experimental burial on survival, growth and resource allocation of three species of dune plants. *The Journal of Ecology*, 1997, 85(2): 151-158.
- [5] Harris D, Davy A J. Carbon and nutrient allocation in *Elymus farctus* seedlings after burial with sand. *Annals of Botany*, 1988, 61(2): 147-157.
- [6] Harris D, Davy A J. Seedling growth in *Elymus farctus* after episodes of burial with sand. *Annals of Botany*, 1987, 60(5): 587-593.
- [7] Shi L, Zhang Z J, Zhang C Y. Effects of sand burial on survival, growth, gas exchange and biomass allocation of *Ulmus pumila* seedlings in the Hunshandak Sandland, China. *Annals of Botany*, 2004, 94(4): 553-560.
- [8] Xu B, Liu X B, Sun Z Y, Zha C S. Study on the anatomical properties and variation of sand covered poplar grown in the beaches of Yangtze River. *Forest Research*, 2005, 18(6): 738-742.
- [9] Cui J Y, Li Y L, Zhao H L, Zhang T H, Zhao X Y. Effects of temperature, water potential and burial depth on germination of *Agriophyllum squarrosum*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29(5): 867-873.

- [10] Yang H L, Chao Z P, Dong M, Ye Y Z, Huang Z Y. Effects of sand burying on caryopsis germination and seedling growth of *Bromus inermis* Leyss. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2438-2443.
- [11] Zhao H L, He Y H, Yue G Y, Zhou R L. Effects of wind blow and sand burial on the seedling growth and photosynthetic and transpiration rates of desert plants. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(3): 413-419.
- [12] Liu H J, Guo K. The impacts of sand burial on seedling development of *Caragana intermedia*. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2550-2555.
- [13] Zhang C Y, Yu F H, Dong M. Effects of sand burial on the survival, growth, and biomass allocation in semi-shrub *Hedysarum laeve* seedlings. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(3): 337-343.
- [14] Huang L H, Liang Z W, Ma H Y. Effects of saline-sodic stress on the photosynthesis rate, transpiration rate and water use efficiency of *Leymus chinensis*. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(5): 25-30.
- [15] Jin T T, Liu G H, Hu C J, Su C H, Liu Y. Characteristics of photosynthetic and transpiration of three common afforestation species in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5758-5765.
- [16] Gao L, Yang J, Liu R X. Effects of soil moisture levels on photosynthesis, transpiration, and moisture use efficiency of female and male plants of *Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6025-6034.
- [17] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. Annals Review of Plant Physiology, 1982, 33(1): 317-345.
- [18] Cowan I R. Stomata behavior and environment. Advance of Botany Research, 1977, 4: 117-228.
- [19] Huang Y Q, Wang X Q, Lu Y H, Wang Q. Studies of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of some dominant species in rocky desert area, Guangxi, China. Guihaia, 2006, 26(2): 171-177.
- [20] Wang J, Zhou R L, Zhao H L, Zhao Y H, Hou Y P. Growth and physiological adaptation of *Messerschmidia sibirica* to sand burial on coastal sandy. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4291-4299.

参考文献:

- [3] 赵文智, 刘志民. 西藏特有灌木砂生槐繁殖生长对海拔和沙埋的响应. 生态学报, 2002, 22(1): 134-139.
- [8] 徐斌, 刘杏娥, 孙主义, 查朝生. 长江滩地沙埋杨树木材解剖性质及其变异的研究. 林业科学研究, 2005, 18(6): 738-742.
- [9] 崔建垣, 李玉霖, 赵哈林, 张铜会, 赵学勇. 不同环境条件对沙米种子萌发的影响. 西北植物学报, 2009, 29(5): 867-873.
- [10] 杨慧玲, 曹志平, 董鸣, 叶永忠, 黄振英. 沙埋对无芒雀麦种子萌发和幼苗生长的影响. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2438-2443.
- [11] 赵哈林, 何玉惠, 岳广阳, 周瑞莲. 风吹、沙埋对沙地植物幼苗生长和光合蒸腾特性的影响. 生态学杂志, 2010, 29(3): 413-419.
- [12] 刘海江, 郭柯. 沙埋对中间锦鸡儿幼苗生长发育的影响. 生态学报, 2005, 25(10): 2550-2555.
- [14] 黄立华, 梁正伟, 马红媛. 苏打盐碱胁迫对羊草光合、蒸腾速率及水分利用效率的影响. 草业学报, 2009, 18(5): 25-30.
- [15] 靳甜甜, 刘国华, 胡婵娟, 苏常红, 刘宇. 黄土高原常见造林树种光合蒸腾特征. 生态学报, 2008, 28(11): 5758-5765.
- [16] 高丽, 杨劼, 刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征. 生态学报, 2009, 29(11): 6025-6034.
- [19] 黄玉清, 王晓英, 陆树华, 汪青, 赵平. 岩溶石漠化治理优良先锋植物种类光合、蒸腾及水分利用效率的初步研究. 广西植物, 2006, 26(2): 171-177.
- [20] 王进, 周瑞莲, 赵哈林, 赵彦宏, 侯玉萍. 海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策. 生态学报, 2012, 32(14): 4291-4299.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huaqun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tiju, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

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 33 卷 第 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元