ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 34 卷 第 10 期 Vol.34 No.10 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 10 期　　2014 年 5 月　(半月刊)

目　　次

前沿理论与学科综述

景观可持续性与景观可持续性科学…… 赵文武,房学宁 (2453)

生态系统服务付费的诊断框架及案例剖析 …… 朱文博,王　阳,李双成 (2460)

湿地植物根表铁膜研究进展…… 刘春英,陈春丽,弓晓峰,等 (2470)

水生生态环境中捕食信息素的生态学效应…… 覃光球,卢豪良,唐振柱,等 (2481)

脊椎动物传播植物肉质果中的次生物质及其生态作用 …… 潘　扬,罗　芳,鲁长虎 (2490)

个体与基础生态

中亚热带天然林土壤 CH_4 吸收速率对模拟 N 沉降的响应 …… 陈朝琪,杨智杰,刘小飞,等 (2498)

塔里木盆地南缘旱生芦苇生态特征与水盐因子关系…… 贡　璐,朱美玲,塔西甫拉提·特依拜,等 (2509)

黄刺玫叶片光合生理参数的土壤水分阈值响应及其生产力分级…… 张淑勇,夏江宝,张光灿,等 (2519)

亚热带杉木和米老排人工林土壤呼吸对凋落物去除和交换的响应…… 余再鹏,万晓华,胡振宏,等 (2529)

施钾提高蚜害诱导的小麦茉莉酸含量和叶片相关防御酶活性…… 王　祎,张月玲,苏建伟,等 (2539)

高浓度 O_3 及太阳辐射减弱对冬小麦 PSⅡ光合活性及光能耗散的影响 ……

…… 孙　健,郑有飞,吴荣军,等 (2548)

蜡样芽孢杆菌 B3-7 在大田小麦根部的定殖动态及其对小麦纹枯病的防治效果 ……

…… 黄秋斌,张　颖,刘凤英,等 (2559)

有限供水下冬小麦全程耗水特征定量研究…… 张兴娟,薛绪掌,郭文忠,等 (2567)

抗真菌转基因水稻生态适合度评价…… 李　伟,郭建夫,袁红旭,等 (2581)

花生叶片蛋白组对 UV-B 辐射增强的响应 …… 杜照奎,李钧敏,钟章成,等 (2589)

南海南部悬浮颗粒物脂肪酸组成…… 刘华雪,柯常亮,李纯厚,等 (2599)

年龄、集群、生境及天气对鄱阳湖白鹤越冬期日间行为模式的影响…… 袁芳凯,李言阔,李凤山,等 (2608)

[树]麻雀羽再生的能量预算和水代谢散热调节 …… 杨志宏,吴庆明,杨　渺,等 (2617)

低剂量杀虫剂对星豹蛛捕食效应的影响及其机理 …… 李　锐,李　娜,刘　佳,等 (2629)

空心莲子草叶甲对越冬保护的响应与控害效能…… 刘雨芳,王秀秀,李　菲,等 (2638)

种群、群落和生态系统

气候变化对鄱阳湖白鹤越冬种群数量变化的影响…… 李言阔,钱法文,单继红,等 (2645)

不同退耕年限下菜子湖湿地土壤磷素组分特征变化…… 刘文静,张平究,董国政,等 (2654)

查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析 …… 李然然,章光新,张 蕾 (2663)
闽江河口区淡水和半咸水潮汐沼泽湿地土壤产甲烷菌多样性…… 曾志华,杨民和,佘晨兴,等 (2674)
环境及遗传背景对延河流域植物叶片和细根功能性状变异的影响…… 郑 颖,温仲明,宋 光,等 (2682)
衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复阶段土壤特性的演变…… 杨 宁,邹冬生,杨满元,等 (2693)
海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价…… 李莎莎,孟宪伟,葛振鸣,等 (2702)
中国南方 3 种主要人工林生物量和生产力的动态变化…… 杜 虎,曾馥平,王克林,等 (2712)
杉木人工林土壤真菌遗传多样性…… 何苑皞,周国英,王圣洁,等 (2725)
科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应…… 张腊梅,刘新平,赵学勇,等 (2737)
黄土丘陵区退耕还林地刺槐人工林碳储量及分配规律…… 申家朋,张文辉 (2746)

景观、区域和全球生态

南亚热带森林演替过程中小气候的改变及对气候变化的响应…… 刘效东,周国逸,陈修治,等 (2755)
黄淮海平原典型站点冬小麦生育阶段的干旱特征及气候趋势的影响…… 徐建文,居 辉,刘 勤,等 (2765)

资源与产业生态

基于 GIS 的山西省矿产资源规划环境影响评价 …… 刘 伟,杜培军,李永峰 (2775)
基于效益分摊的水电水足迹计算方法——以密云水库为例 …… 赵丹丹,刘俊国,赵 旭 (2787)

学术信息与动态

全球土地计划第二次开放科学大会(GLP 2nd Open Science Meeting)会议述评 …… 段宝玲,卜玉山 (2796)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 348 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 36 * 2014-05

封面图说:鄱阳湖越冬的白鹤群——白鹤为国家一级保护动物,世界上白鹤东部种群的迁徙路线是从俄罗斯西伯利亚的雅库特,向南迁飞 5100km 到中国长江下游的鄱阳湖越冬,其中途经俄罗斯的雅纳河、印迪吉尔卡河和科雷马河流域,进入中国后主要停歇地有扎龙、林甸、莫莫格以及双台河口、滦河口、黄河三角洲和升金湖等地。多年的监测表明,世界 90%以上的白鹤种群都在鄱阳湖越冬。越冬初期和末期是白鹤补充能量的关键阶段,因此,研究鄱阳湖国家级自然保护区越冬白鹤种群数量和当地气候变化的相关性具有重要意义。

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/stxb201306191738
张腊梅,刘新平,赵学勇, 张铜会,岳祥飞,云建英.科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应.生态学报,2014,34(10):2737-2745.
Zhang L M, Liu X P, Zhao X Y, Zhang T H, Yue X F, Yun J Y.Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land.Acta Ecologica Sinica,2014,34(10):2737-2745.

科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应

张腊梅[1,2,*],刘新平[1],赵学勇[1], 张铜会[1],岳祥飞[1,2],云建英[1]
(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:选择科尔沁固定沙地利用一种野外增减雨试验装置研究了沙地植被生长特征对降雨增减变化的响应。结果表明:(1)在6月,降雨增减变化对植物群落高度有显著影响($P < 0.05$)。减雨 60%和 30%时,植物群落平均高度比对照分别降低 8.8%和 2.3%,增雨 60%和 30%时,则分别增加 6.8%和 1.4%;相比增雨 60%,增雨 30%更能促进群落盖度的增大;降雨量变化影响群落植株密度。(2)1a 的降雨增减变化对沙地植被的多样性和均匀度均没有显著影响,但减雨可显著增加 7 月物种的丰富度($P < 0.05$)。(3)随着降雨量的增加,地上生物量逐渐增大,在增雨 30%时达到最大值;而地下生物量会随着降雨量增加而显著增大,同时,减雨 60%也使地下生物量增加。此外,降雨量的增加和减少都会使地下与地上生物量的比值增加。(4)固定沙地地下生物量主要分布在 0—20 cm 之间,占总地下生物量的 52.7%;降雨量的增加显著增加 20—40 cm 土壤中根系的分布,当降雨量减少 60%时,20—40 cm 土壤中根系的分布也略有增加,增雨 60%和减雨 60%对地下生物量在 40—60 cm 土层的分布具有明显的促进作用。

关键词:增雨;减雨;半干旱沙地;植被特征;生物量

Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land

ZHANG Lamei[1,2,*], LIU Xinping[1], ZHAO Xueyong[1], ZHANG Tonghui[1], YUE Xiangfei[1,2], YUN Jianying[1]
1 *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *China*
2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

Abstract: Precipitation plays an important role in vegetation establishment and plant growth, species composition and community structure and biomass distribution. With the intensification of global climate change, the effect of annual rainfall and its pattern on vegetation is getting more important. To clarify the response of sandy vegetation to precipitation (P) change, a device was used in a field experiment to control precipitation amount in Horqin Sandy Land. The height, density and coverage, species composition, above-ground and below-ground biomass of the vegetation were surveyed at 48 quadrates (50 cm×50cm) once a month from May to July. The results showed that (1) Change of P had a significant effect on the average height, density and coverage of the sandy land vegetation. The rainfall in May is 19.2 mm and the coverage is higher in the plots with P added by 30% than that reduced by 30% and 60%, significantly. And there is a significant difference between P addition by 60% and reduction by 30%. When P added by 60%, the average density was deceased by 15.4%, but it was increased by 15.3% when P reduced by 30% compared with the control. In June, the rainfall was 96.8 mm, when P reduced by 60% and 30%, the average height was decreased by 8.8% and 2.3%, respectively. and the average height was increased by 6.8% and 1.4% when P added by 60% and 30%, respectively. The coverage is higher when P added by 30% than reduced by 30% significantly, and the vegetation coverage, compared with the control, was correspondingly

基金项目:国家自然科学基金项目(41371053);国家科技支撑计划项目(2011BAC07B02);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050201-04-01)
收稿日期:2013-06-19; **修订日期**:2014-03-24

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: lmeizhang@163.com

increased by 19.7% and decreased 60.5%, respectively. Coverage was significantly increased in plots with P added by 60% than that reduced by 60%. The average plant density was increased by 8.90% when P added by 30%, and decreased by 14.2% while P added by 60%. (2) The effect of P change on diversity index and evenness was not significant within one year but the abundance index was influenced significantly in only July. There is a significant difference between P reduction by 30% and addition by 30% and 60%. The species richness presented a decrease trend with P addition. (3) P change had a significant effect on the aboveground biomass. When P added by 30%, the aboveground biomass was increased and maximized at 167.94 g/m^2 and the minimum was 68.37 g/m^2. The underground biomass was increased significantly with P addition. The ratio of underground biomass to aboveground biomass of all treatments was increased. (4) The underground biomass of the sandy land vegetation was mainly distributed in 0—20 cm and 20—40 cm soil layers, accounted for 52.7% and 42.65%, respectively. The distribution of roots in 20—40 cm soil layer was increased significantly with P addition, and increased slightly when P reduced by 60%. The underground biomass in 40—60 cm was increased when P reduced by 60% and added by 60%.

Key Words: precipitation addition; precipitation reduction; semiarid sandy land; vegetation characteristics; biomass

降水是干旱、半干旱沙地生态系统重要的水分来源[1],同时也是沙地植被形成和发展的主要制约因素[2]。随着全球气候变化的加剧,以间隔时间增大、单次降雨量增多为特征的降雨事件将会增加[3-4]。气候的变化将会引起植被分布格局和植被生长发育的改变[5]。在干旱区,降水的时空分布是决定植物定植、生长和群落物种组成与结构以及生物量[6]至关重要的因素[7-8]。对于半干旱区的草原,生长季内的平均单次降雨量和降雨次数对地上净初级生产力 ANPP(Aboveground Net Primary Production)的影响远大于总降雨量的影响[9]。杨泽龙等[10]以 Thornthwaite Memorial 模型作为草地生产潜力估算指标,指出降水是内蒙古东部草地生产力提高的限制性因素。在生长季的不同月份,降水对草原植被的生长的影响程度也不同[11]。因此,降水的年内分布,尤其是 6—8 月份的降水量才是影响沙地植被覆盖度和高度的主要原因[12]。另外,物种多样性指数随降水量变化而变化,并且生长季降水量对物种多样性的影响大于年降水[10]。在暖湿化气候背景下,中国内陆大部分半干旱和干旱区的植被盖度显著增长[13]。内蒙古地区降水呈现出两极变化趋势,西部荒漠区温度和降水呈现出暖湿化趋势,而中东部地区表现为暖干化趋势[14-15]。因此,降水增加或减少对沙地植物群落结构、植物多样性特征和生产力等过程必然产生影响,进而可能会影响整个生态系统的结构与功能。

科尔沁沙地处于我国北方半干旱与半湿润地区过渡地带,是我国北方农牧交错带沙漠化最为严重的地区之一。该地区多年平均降水量低,且年际变率较大,变异系数大,年降水量呈减少趋势,气候有趋于干旱化的特点。降水对该区植被的影响主要反映在降水的变化对植物的种类、盖度、高度以及植物个体地上和地下部分生理生态学特征的改变。有研究表明,1 年生与 2 年生草本植物受水分条件影响较大,会随着降水的增减在植物群落中消失或者侵入定居[16-18]。因此,系统地分析降雨增减过程中半干旱沙地植物个体和群落特征对降雨特征变化的响应,对于科学认识沙地植被对降水增减变化响应机制,以及对制定有效的植被管理对策将具有十分重要的理论和现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

实验区位于科尔沁沙地中南部的奈曼旗境内(120°41′E, 42°54′N),海拔高度 360 m,属温带大陆性半干旱气候。多年平均降水量为 351.7 mm, 其中 70%—80%集中在 6—8 月,多年平均蒸发量为 1935 mm[19],年均气温 6.1—6.5 ℃,≥ 10 ℃积温 3000 ℃以上,无霜期 150 d[20],草原植物生长期约 150 d。土壤类型主要为栗钙土、草甸土和风沙土。研究区的主要植被类型可分为沙生半干旱草原植被和草甸植被[21]。试验期间样地内 5—9 月的平均气温、平均地温和月蒸发量见表 1。

表 1　实验区平均气温、平均地温和月蒸发量

Table 1　Monthly mean air and ground temperature, and evaporation

月份 Month	月平均气温 Monthly mean air temperature/℃	月平均地温 Monthly mean ground temperature/℃	蒸发量 Evaporation/mm
5	17.42	22.72	315.3
6	20.79	25.09	210.7
7	23.29	28.83	205.4
8	21.80	27.10	209.4
9	16.19	19.28	215.2

1.2　研究方法

本研究于 2011 年 4 月在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所奈曼沙漠化研究站开始进行,应用增减雨装置开展实验,该装置是由支撑架、截雨槽、集雨箱、增雨管组成。支撑架长和宽均为 2.0 m,高 1.5 m。由规格为∠50 mm×50 mm×4 mm 的角钢焊接而成,截雨槽由厚 5 mm 的有机玻璃板热压成直角角槽,一端封闭。截雨槽所用有机玻璃为高透光有机玻璃,经 WGT-S 透光率/雾度测定仪测定其透光率可达到 95%,对光照的影响很小。集雨箱由厚 3 mm 的不锈钢板制成,其底部等距开 9 个孔连接增雨管,增雨管由白色 4 分铝塑管做成,9 根增雨管末端之间连通,以利于施雨均匀。连通管不打孔,增雨管上打孔施雨,孔径为 0.15 cm,孔间距为 10.0 cm(该装置已获得国家实用新型专利,专利号:ZL201220126834.3)。该装置的减雨主要是通过截雨槽的截留作用将自然降雨的一部分截留以减少落入下方减雨样地内的降雨量来实现减雨的目的,同时使截留的降雨流进集雨箱内,然后通过增雨管将截留的降雨施在前方增雨样方内,实现同步增雨的目的(图 1)。

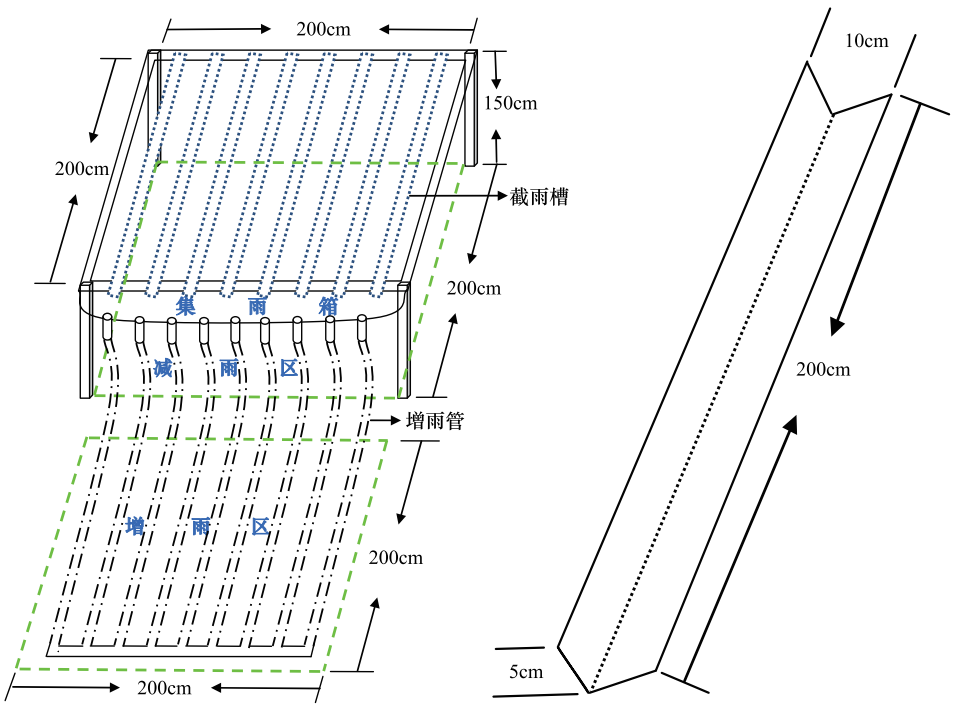

图 1　增减雨试验装置

Fig.1　The test apparatus of enhance and reduce precipitation

试验场地选择在站区周围围封的典型的平缓固定沙地上,布设增减雨装置 12 套。对该区域 49a 来的降水资料分析显示,研究区 49a 来平均降水量为 351.7 mm,最大降水量为 567.1 mm,出现在 1986 年,距平增加 61.2%;最小降水量为 213.1 mm,出现在 2000 年,距平减少 39.4%。降水以降雨居多,降雪仅

占年降水的5%左右。小于多年平均降水量的年份占63.3%。根据当地降雨分布特征和增减雨装置的特性,将增减雨量设计为降雨单因素的重复对比实验,即减雨、增雨和对照。每个又可分为两个水平即增雨30%和60%,减雨30%和60%以及对照等,共5个处理,每个处理4个重复。每个样地对应的增雨区、减雨区和对照区面积均为2 m×2 m。每套装置周围留出2 m的缓冲带,以避免相互干扰。实验区主要优势种有大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、大果虫实(*Corispermum elongatum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、尖头叶藜(*Chenopodium acuminatum*)及赖草(*Leymus secalinus*)等。

从2012年4月20日开始,每月用常规方法调查1次各样地内的植物的株数、种类、高度、盖度、密度;8月中下旬(这一地区植被生物量最大的时段)用根钻法和收获法分别调查地下生物量和地上生物量。每个样地沿对角线方向均匀设5个50 cm×50 cm的小样方(中心点1个,中心点至4个角二分之一处各1个),植物地上部分沿地面分植物种刈割收获,地下生物量每个小样方用根钻(直径10 cm,长度15 cm)分层取样,每20 cm取1次,取土深度为1 m,带回室内洗出活根。所有植物样在实验室80℃烘干至恒重后称重。

物种多样性指数采用广泛应用的Shannon-Wiener指数(H)、和Pielou均匀度指数(C)、物种丰富度指数(Species richness)来计算。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2003对数据进行计算及作图。利用SPSS 17.0软件对不同处理之间的观测变量进行单因素方差分析(One-way ANONA),检验均值差异的显著性($P < 0.05$),用最小显著差异法(LSD)来确定降雨量不同处理间的差异($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 沙地植物群落特征对降雨增减变化的响应

2012年总降水量为430.6 mm,距平增加23.73%。植被生长季(5—9月)降水量为237.4 mm,占全年总降雨量的67.5%(图2)。

降水增减变化对植被平均高度、盖度、密度的影响如图3所示。降雨增减变化对6月植被高度有显著影响($P < 0.05$)。6月和7月降雨量分别为96.8 mm和89.0 mm,当分别减少60%、30%时,6月植被平均高度比对照分别低8.8%、2.3%,7月则分别低14.3%、9.5%;当分别增加60%、30%时,6月植被平均高度则分别增加6.8%、1.4%,而在5月和7月,降雨量增加对植被的平均高度没有显著影响($P > 0.05$)(图3)。实验期间,植被的平均盖度随降水的增加而增大,随降水的减少而减小(图3)。6月的植被平均盖度大于5月和7月,并且增雨30%、对照和减雨30%的植被盖度之间存在显著差异($P < 0.05$),同时,减雨60%和增雨60%之间也存在显著差异($P < 0.05$)。当6月的降雨量增加30%、减少30%时,植被平均盖度比对照相应增加19.7%和减少60.5%。在降雨量为19.2 mm的5月份,减雨30%、60%时植被平均盖度与对照和增雨60%有显著差异($P < 0.05$),增雨30%与对照差异不显著($P>0.05$),而在7月各处理之间与对照相比则差异不显著($P>0.05$)。

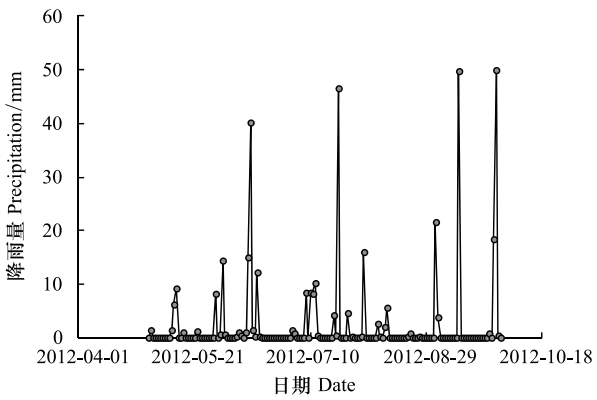

图2 研究区5—9月降雨量

Fig.2 Precipitation from May to September in study area

如图3所示,降雨量的增加与减少直接影响植被的平均密度。在5月,增雨60%与减雨30%、60%之间有显著差异($P < 0.05$),增雨60%使植被的平均密度减少15.4%,而减雨30%使平均密度增加15.3%。在6月,当增雨30%和60%时,植被的平均密度分别增加8.9%和降低14.2%。而在7月,降雨量的增减变化则对植被的平均密度影响不显著($P > 0.05$)。此外,随着生育进程的推进,高度增加明显,直至7月末停止生长。而植被盖度和密度从5月开始增大,到6月达到最大值,7月又开始降低。

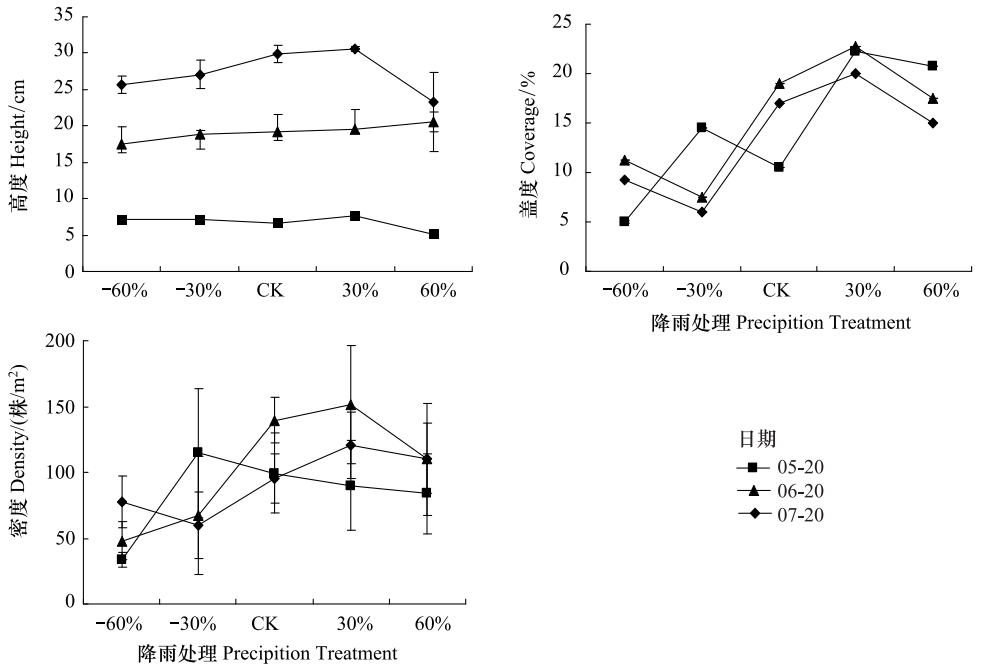

图 3　不同降水处理对植被高度、盖度、密度的影响

Fig.3　The influence of different rainfall treatment on plant height, coverage, and density

2.2　物种多样性对降雨增减变化的响应

不同降水处理下各月份物种多样性的多重比较表明,在同一月份,降雨量增减对 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度均没有显著地影响(P >0.05),在相同处理下,不同月份之间也无显著差异(P > 0.05)。而物种丰富度作为决定某一区域生物多样性的最重要因子之一,在自然降雨情况下,5 月与 7 月之间差异极显著(P < 0.01),减雨 60%时,7 月与 5 月、6 月之间也差异极显著(P < 0.01),增雨 30%时,6 月与 7 月之间也有显著差异(P < 0.05),并且 7 月的丰富度最低。在 7 月,减雨 30%与增雨 30%和 60%之间差异显著(P < 0.05),自然降雨与增雨 30%之间也有显著差异(P < 0.05),即该月份不同降雨量对植被的丰富度影响较大,并且呈现出随着降雨量的增加而降低的趋势。

表 2　增减雨处理对丰富度指数的影响

Table 2　The multiple comparison of the richness index under the different months and different rainfall treatment

降雨处理 Rainfall treatment	香浓-威纳指数 Shannon-Winner index			Pielou 均匀度 Pielou evenness index			物种丰富度 Species richness		
	5 月 May	6 月 June	7 月 July	5 月 May	6 月 June	7 月 July	5 月 May	6 月 June	7 月 July
-60%	1.03±0.18a A	1.37±0.25a A	0.58±0.05a A	0.46±0.09a A	0.61±0.11a A	0.76±0.06a A	9.50±0.65a A	9.50±0.29a A	6.75±0.75abcB
-30%	1.12±0.19a A	1.18±0.19a A	0.30±0.22a A	0.52±0.09a A	0.55±0.11a A	0.58±0.10a A	8.50±0.50a A	9.25±1.11a A	8.50±0.87a A
CK	1.08±0.12a A	1.15±0.04a A	0.35±0.09a A	0.48±0.05a A	0.53±0.02a A	0.62±0.05a A	9.63±0.56a A	8.75±0.41a AB	7.63±0.49ab B
30%	1.15±0.26a A	1.65±0.18a A	0.65±0.12a A	0.56±0.10a A	0.74±0.05a A	0.71±0.05a A	7.50±0.65a AB	9.50±1.44a A	5.50±0.78c B
60%	1.15±0.26a A	0.91±0.18a A	0.40±0.21a A	0.58±0.09a A	0.45±0.09a A	0.70±0.08a A	7.50±1.66a A	8.00±0.71a A	6.00.±0.82bcA

不同小写字母表示表示相同月不同处理之间差异显著,不同大写字母表示相同处理不同月之间差异显著(P<0.05)

2.3　植物群落地上、地下生物量分配格局对降雨增减变化的响应

随着降雨量的增加,植被的地上、地下生物量均有增加的趋势(图 4)。生长季结束后,各降雨处理的总生物量在 84.19—195.44 g/m^{2}之间。其中,对不同处理间的地上生物量进行分析比较后发现,降雨量增加 30%和减少 60%对地上生物量有显著影响(P < 0.05),增雨 30%时,地上生物量达到最大,为 167.94 g/m^2,比对照增加 72.12%;而减雨 60%时,地上生物量最小,为 68.37 g/m^2,比对照减少 29.93%。

对不同降水处理间的地下生物量的研究表明:减雨30%时,地下生物量仅为 12.65 g/m^2,这比对照的地下生物量减少 6%,而减雨 60%时,地下生物量反而增加,降雨量增加时地下生物量也明显增加;此外,对照下地下生物量占地上生物量的比例为 13.86%,降雨量的增加和减少都使该比例增加。

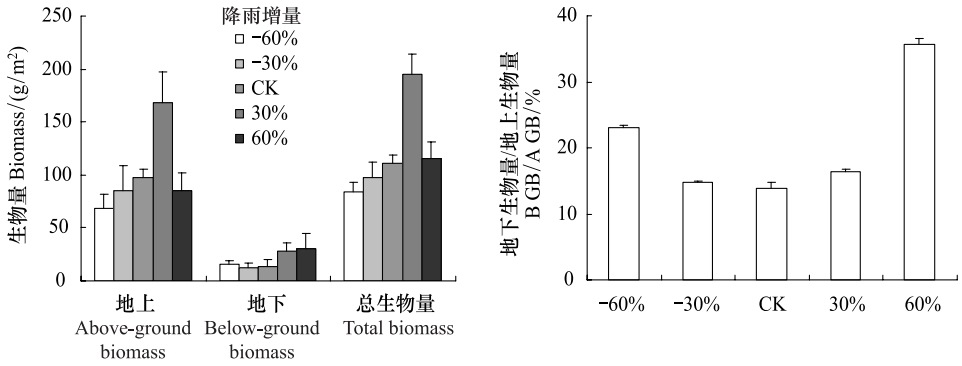

图 4 地上、地下生物量以及地下生物量/地上生物量

Fig.4 The above-ground and below-ground biomass and the ratio of below-ground biomass to above-ground biomass

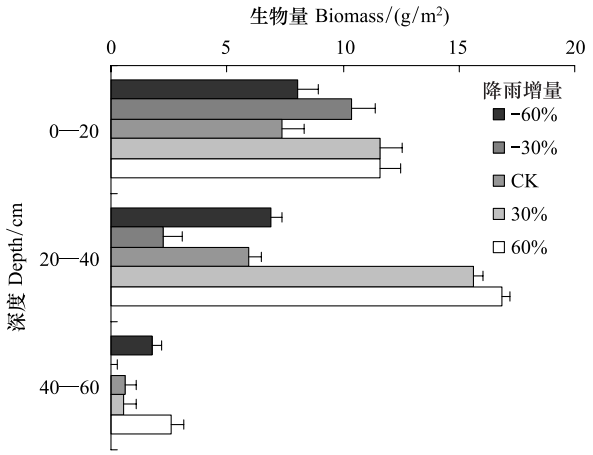

图 5 地下生物量的垂直分布

Fig.5 The vertical distribution of the below-ground biomass

从植被地下生物量的垂直分布格局可以看出(图5),在自然降水条件下,样区植被的地下生物量主要分布在 0—20 cm 土层,20—40 cm 土层次之,分别占总地下生物量的 52.79%和 42.65%。60 cm 以下深度基本没有植物根系分布。当降雨减少 60%时,可明显增加地下生物量在 40—60 cm 土层的分布;同时,降雨量的增加也促进了不同深度地下生物量的增加。在 0—20 cm 土层,除增雨与减雨及对照差异显著外(P <0.05),其它降水处理间差异都没有达到显著水平(P>0.05)。

3 讨论

降水是沙地生态系统中制约植物生长的最主要的生态因子[22]。降水格局和数量是决定植物定植、生长至关重要的因素[7-8],降水的变化对沙地植物群落结构、生物多样性特征和生产力等过程都有着不同程度的影响,甚至决定着整个生态系统的结构和功能[23]。我国干旱、半干旱区植被覆盖分布与降水分布比较吻合,无植被覆盖区对应降水小于 100 mm,植被覆盖随着降水量的增加而增加[13]。6—8月的降水量是影响荒漠草地植被覆盖度和高度的主要原因,5 月是植被开始发育的时期,如果降雨稀少,植被的生长就会受到抑制[12]。本研究区降雨主要集中在 6—8 月,样地植被于 5 月初才开始生长发育,因此,在 5 月植被生长初期,降水量的增减变化对植被高度基本没有显著影响(P>0.05),但对植被的盖度和密度影响显著(P<0.05)。与 6 月相比,7 月减雨对植物高度的影响更大,也即当降雨量仅为 35.6 mm 时,7 月植被的平均高度比对照降低了 8.8%。而在增雨条件下,6 月植被高度增加的程度则大于 7 月,增雨 60%,即当降雨量为 154.88 mm 时,植被的平均高度比同期增加 6.8%。本研究发现,在不同处理下,植被的平均盖度在 6 月达到最大,并且以−30%、CK、30%处理依次增大,增雨 30%可使植被盖度增加 19.7%,减雨 30%则使其减少 60.5%。这一结果与 Meserve[24] 连续 13a(1989—2001 年)对智利北部沙漠短命植物的覆盖率与年降水量的关系进行的试验结果相同,他发现短命植物的覆盖率随降水量的增加而增大。本研究中,在不同生长期,增雨 60%反而使植被盖度、密度下降,虽然高于对照组,但低于增雨 30%的处理,可能是因为样地中的植物

大部分为沙生植物,适当的增雨会增加植被盖度、密度等特征,但是,高强度降水会抑制沙生植物的生长,降水太多反而会使沙生植被出现不适应的现象,从而使植被盖度、高度、密度等特征有所降低;也可能是因为植被类型和结构对降水的响应不同,如本研究中增雨 60%时植被种类单一;也有学者[25]认为,施雨量的不同会造成旱生植被的分枝格局以及叶特征的不同,而不同的分枝格局会影响植物对空间和光资源的不同利用[26]。此外,有研究指出:土壤种子库中储存的浅根系的一年生植物种子在遇到降水丰富的年份能迅速萌发生长[30-31],这与本实验的研究结果相一致,即 6 月份,降水的适度增加可显著增加植被的密度,其原因可能就是土壤种子库中种子大量萌发并生长的结果[23]。

不同降水处理对物种多样性和均匀度指数没有显著影响($P>0.05$),这与赵哈林[29]研究指出的沙质草地植被恢复过程中 1 年生植物的多样性与降水的相关性很低,除降水外还可能有其他一些因素作用的结果基本一致,但也可能是因为本实验周期短,降水的不同处理对群落的多样性等特征还未产生影响,具体有待进一步研究。

我国草地植被总生物量占世界草地植被的 2.1%—3.7%,其中,总地上生物量为 146.16 TgC (1Tg = 10^{12} g),主要集中在北方干旱、半干旱地区和青藏高原;总地下生物量为 898.60 TgC,是地上生物量的 6.15 倍[30]。我国温带草地地上生物量受降水的影响较为显著[31],张志新[32]等人通过对少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus*)的研究指出,在物质分配上,干旱条件下少花蒺藜草表现出的是存活对策;灌溉条件下表现出的是竞争和繁殖生长。本研究发现,降雨量增加 30%和减少 60%对研究区植被地上生物量的影响有显著差异($P < 0.05$),降雨量增加对地上生物量有促进作用,地上最大生物量是最低生物量的 2 倍左右。在一定降雨量范围内,降雨增加可显著增加植物地上、地下的生物量,对地上生物量的影响更大,这是因为降水增加可有效补充土壤水分,促进植物地上和地下部分的生长,并且当影响植被生长的其他环境因子(如温度、光照、土壤的理化性质、植物组成、发育阶段)适宜时,地上部分增加更明显。但是,当降雨量增加 60%时,地上生物量反而下降,这可能是该降雨量已超出研究区植被生长所适宜的水分范围。天然草地地下生物量与地上生物量的比值反映了光合产物的比例,它因群落或生态系统的类型而异,是群落或生态系统的重要参数之一[33]。本研究发现,减雨可使地下生物量有一定的程度的增加,同时减雨 60%可提高地下生物量占地上生物量的比例,其原因是植被对较低土壤含水量的反应是减少地上部生长,加强地下部生长,这符合干旱条件植物地上部和地下部生长的规律,是植物对干旱的抗逆反应[33]。同时,增雨 60%也使该比值增加,这与在该降雨量下,地上生物量显著下降有关。而马文红[34]、戴诚[35]等人研究指出,地下地上生物量比与降水量没有显著关系,其结果可用功能平衡理论解释,植物的地上和地下部分生长存在一种平衡适宜的环境条件同时促进植物地上和地下生长,当环境条件不利时,植物地上和地下生长同时减慢,因而地下和地上生物量的比值相对受降水条件变化的影响较小。另外研究区不同降水处理下的地下生物量与地上生物量的比值都小于 1,这与 Coupland[36]在北美草原的长期资料分析结果不同,他发现温带草原的地下地上生物量比在 2.1—6 之间变化。其原因可能是本研究区植被主要为 1 年生与 2 年生植被,其根系每年基本都是新生,更多的环境资源会用于地上部分生长,根系分配相对较少。

自然降水情况下,研究区地下生物量主要分布在沙地 0—20 cm 土层,占总地下生物量的 52.7%,这与 Jackson 等人[37]在全球尺度上得到的温带草地根系垂直分布研究的结果基本一致。此外,降雨量减少 60%使地下生物量在 40—60 cm 土层的分布有所增加,可能是因为沙地植被在极端干旱的条件下,可通过增加根系的生长来应对水分的胁迫作用。

4　结论

(1)在 6 月,植被平均高度随着降水量的增加而增加;植被盖度亦随着降雨量增加而增大,6 月达到最大值,但是,增雨 30%对植被盖度的增加更为显著,而增雨 60%虽然有利于植物生长初期,但对后期植被盖度、密度增大不一定有利。

(2)在增减雨当年,降水的增减变化对半干旱沙地植被的多样性和均匀度均没有显著影响,但对物种丰富度有一定影响,降雨量增加,丰富度反而降低。

(3)随着降雨量的增加,地上生物量逐渐增大,在增雨 30%时达到最大值;增雨 30%能明显提升植物生产力,但增雨 60%反而会影响地上生物量的增加;而地下生物量会随着降雨量增加而显著增大,同时,在干旱条件下植物根系也会加速生长。此外,降雨量的增加和减少都会使地下与地上生物量的比值增加。

(4)固定沙地地下生物量主要分布在 0—20 cm 之间,占总地下生物量的 52.7%;干旱和多雨都能促进植物根系的深生长,而增加降水更有利于沙地植物根系的深生长。

References:

[1] Ehleringer J R, Schwinning S, Gebauer R. Water use in arid land ecosystems // Press M C, Scholes J D, Barker M G, eds. Physiological Plant Ecology. Boston: Blackwell Science, 2000: 347-365.

[2] Sharma K D. Water resources: an overview of world deserts. Annual Arid Zone, 1991, 30(4): 283-300.

[3] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, Changnon S A, Karl T R, Mearns L O. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. Science, 2000, 28(9): 2068-2074.

[4] Meehl G A, Arblaster J M, Tebaldi C. Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations. Geophysical Research Letters, 2005, 32(18): L18719, doi: 10.1029/2005GL023680.

[5] Ichii K, Kawabata A, Yamaguchi Y. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends 1982—1990. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(18): 3873-3878.

[6] Dasci M, Koc A, Comakli B, Kerim Güllap M, Murat Cengiz M, Ibrahim Erkovan H. Importance of annual and seasonal precipitation variations for the sustainable use of rangelands in semi arid regions with high altitude. African Journal of Agricultural Research, 2010, 5(16): 2184-2191.

[7] Cheng X L, An S Q, Li B, Chen J Q, Lin G H, Liu Y H, Luo Y Q, Liu S R. Summer rain pulse size and rainwater uptake by three dominant desert plants in a desertified grassland ecosystem in northwestern China. Plant Ecology, 2006, 18(1): 1-12.

[8] Dodd M B, Lauenroth W K, Welker J M. Differential water resource use by herbaceous and woody plant life-forms in a shortgrass steppe community. Oecologia, 1998, 117(4): 504-512.

[9] Swemmer A M, Knapp A K, Snyman H A. Intra-seasonal precipitation patterns and above-ground productivity in three perennial grasslands. Journal of Ecology, 2007, 95(4): 780-788.

[10] Yang Z L, Du W X, Hou Q, Li X C, Wang B C. Regional analysis of climate change in the East of Inner Mongolia and Its Potential Productivity of Grassland. Chinese Journal of Grassland, 2008, 30(6): 62-66.

[11] Liu C L, Fan R H, Wu J J, Yan F. Temporal lag of grassland vegetation growth response to precipitation in Xilinguolemeng. Arid Land Geography, 2009, 32(4): 512-518.

[12] Zhang Y, Zhang Q C, Liu B Y. Study on vegetation coverage and height variation in northern Loess Plateau. Advances in Earth Science, 2002, 17(2): 268-272.

[13] Li J Y, Xu W X, Cheng Z G, Liu Y, Liu Z. Spatial-temporal changes of climate and vegetation cover in the semi-arid and arid regions of China during 1982—2006. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(2): 268-272.

[14] Shi Z J, Gao J X, Xu L H, Feng C Y, Lü S H, Shang J X. Effect of vegetation on changes of temperature and precipitation in Inner Mongolia, China. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(11): 1594-1601.

[15] Wang Z Y, Ding Y H, He J H, Yu J. An updating analysis of the climate change in China recent 50 years. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236.

[16] Chang X L, Zhao A F, Li S G. Response species diversity to precipitation change on fixed-dunes of the Naiman banner region. Journal of Plant Ecology, 2000, 24(2): 147-151.

[17] Zhang J G, Li X R, Wang X P, Wang G, Li J G, Wang Z L. Population dynamic of annual plant *Eragrostis poaeoides* in fixed sand Dune in Shapotou area. Journal of Desert Research, 2001, 21(3): 232-235.

[18] Xu C L, Li Z Z. Population regulation and dynamical simulation of annual plant Eragrostis poaeoides in desert region. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2002, 22(6): 1415-1420.

[19] Liu X P, Zhang T H, Zhao H L, Yue G Y. Infiltration and redistribution process of rainfall in desert mobiles and dune. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(2): 166-171.

[20] Qu H, Zhao X Y, Zhao H L, Wang S K, Li Y Q, Liu Z G. Litter decomposition rates of three shrub species in Horqin sandy land and their relationship with key meteorological factors. Journal of Desert Research, 2010, 30(4): 844-849.

[21] Liu X P. The Water Dynamics and Resources Evaluation of Horqin sandy [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2008.

[22] Dube O P, Pickup G. Effects of rainfall variability and communal and semi-commercial grazing on land cover in southern African rangelands. Climate Research, 2001, 17: 195-208.

[23] Sun Y, Zhang T, Tian C Y, Li X L, Feng G. Response of grass growth and productivity to enhanced water input in ephemeral desert grassland in Gurbantunggut desert. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1859-1868.

[24] Meserve P L, Kelt D A, Milstead W B, Gutierrez J R. Thirteen years of shifting top-down and bottom-up control. BioScience,

2003, 53(7): 633-646.

[25] Xiao C W, Zhou G S, Ma F Y. Effect of water supply change on morphology and growth of dominant plants in Maowusu Sandland. Acta Phytoecologica Sinica, 2002, 26(1): 69-76.

[26] Barke M G, Booth W E. Vertical profiles in a Brunei rain forest: IL Leaf characteristics of Dryobalanops lanceolata. Journal of Tropical Forest Science, 1996, 9: 52-66.

[27] Vidiella P E, Armesto J J. Emergence of ephemeral plant species from the north-central Chilean desert in response to experimental irrigation. Revista Chilena de Historia Natural, 1989, 62: 99-107.

[28] Gutterman Y. Seed germination in desert plants // Cloudsley-Thompson J L, ed. Biotic Interactions in Arid Lands. New York, Berlin Heidelberg: Springer, 1993.

[29] Zhao H L, Okuro Toshiya, Li Y L, Zuo X A, Huang G, Zhou R L. Effects of human activities and climate changes on plant diversity in Horqin sandy grassland, Inner Mongolia. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 17(5): 1-8.

[30] Piao S L, Fang J Y, He J S, Xiao Y. Spatial distribution of grassland biomass in China. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(4): 491-498.

[31] Bai Y F, Han X G, Wu J G, Chen Z Z, Li L H. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. Nature, 2004, 431(9): 181-184.

[32] Zhang Z X, Tian X. Characteristics of biomass allocation of *Cenchrus pauciflorus* under arid and irrigated habitats. Pratacultural Science, 2011, 28(2): 185-188.

[33] Zhang N, Liang Y M. Studies on the below-ground/above-ground biomass ratio of natural grassland in loess hilly region. Acta Prataculturae Sinica, 2002, 11(2): 72-78.

[34] Ma W H, Fang J H. R: S ratios of temperate steppe and the environmental controls in Inner Mongolia. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(6): 774-778.

[35] Dai C, Kang M Y, Ji W Y, Jiang Y. Responses of belowground biomass and biomass allocation to environmental factors in central grassland of Inner Mongolia. Acta Agrectir Sinica, 2012, 20(2): 268-274.

[36] Coupland R T. Grass Land Ecosystems of the World: Analysis of Grasslands and the Viruses (part 2: Natural Temperate Grass 2 Lands). Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

[37] Jackson R B, Canadell J, Ehleringer J R, Mooney H A, Sala O E, Schalze E D. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. Oecologia, 1996, 108(3): 389-411.

参考文献:

[10] 杨泽龙, 杜文旭, 侯琼, 李喜仓, 王冰晨. 内蒙古东部气候变化及其草地生产潜力的区域性分析. 中国草地学报, 2008, 30(6): 62-66.

[11] 刘成林, 樊任华, 武建军, 闫峰. 锡林郭勒草原植被生长对降水响应的滞后性研究. 干旱区地理, 2009, 32(4): 512-518.

[12] 张岩, 张清春, 刘宝元. 降水变化对陕北黄土高原植被覆盖度和高度的影响. 地球科学进展, 2002, 17(2): 268-272.

[13] 李军媛, 徐维新, 程志刚, 刘燕, 刘招. 1982—2006 年中国半干旱、干旱区气候与植被覆盖的时空变化. 生态环境学报, 2012, 21(2): 268-272.

[14] 时忠杰, 高吉喜, 徐丽宏, 冯朝阳, 吕世海, 尚建勋. 内蒙古地区近 25 年植被对气温和降水变化的影响. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1594-1601.

[15] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 虞俊. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.

[16] 常学礼, 赵爱芬, 李胜功. 科尔沁沙地固定沙丘植被物种多样性对降水变化的响应. 植物生态学报, 2000, 24(2): 147-151.

[17] 张景光, 李新荣, 王新平, 王刚, 李金贵, 王宗灵. 沙坡头地区固定沙丘一年生植物小画眉草种群动态研究. 中国沙漠, 2001, 21(3): 232-235.

[18] 徐菜琳, 李自珍. 荒漠一年生植物小画眉草的种群动态调节与模拟. 西北植物学报, 2002, 22(6): 1415-1420.

[19] 刘新平, 张铜会, 赵哈林, 岳广阳. 流动沙丘降雨入渗和再分配过程. 水利学报, 2006, 37(2): 166-171.

[20] 曲浩, 赵学勇, 赵哈林, 王少昆, 李衍青, 刘志国. 科尔沁沙地三种灌木凋落物分解速率及其与关键气象因子的关系. 中国沙漠, 2010, 30(4): 844-849.

[21] 刘新平. 科尔沁沙地水分动态及水资源评价 [D]. 北京: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2008.

[25] 孙羽, 张涛, 田长彦, 李晓林, 冯固. 增加降水对荒漠短命植物当年牧草生长及群落结构的影响. 生态学报, 2009, 29(4): 1859-1868.

[25] 肖春旺, 周广胜, 马风云. 施水量变化对毛乌素沙地优势植物形态与生长的影响. 植物生态学报, 2002, 26(1): 69-76.

[29] 赵哈林, 大黑俊哉, 李玉霖, 黄刚, 左小安, 周瑞莲. 人类放牧活动与气候变化对科尔沁沙质草地植物多样性的影响. 草业学报, 2008, 17(5): 1-8.

[30] 朴世龙, 方精云, 贺金生, 肖玉. 中国草地植被生物量及其空间分布格局. 植物生态学报, 2004, 28(4): 491-498.

[32] 张志新, 田迅. 干旱和灌溉条件下少花蒺藜草分株生物量分配特征. 草业科学, 2011, 28(2): 185-188.

[33] 张娜, 梁一民. 黄土丘陵区天然草地地下/地上生物量的研究. 草业学报, 2002, 11(2): 72-78.

[37] 马文红, 方精云. 内蒙古温带草原的根冠比及其影响因素. 北京大学学报: 自然科学版, 2006, 42(6): 774-778.

[35] 戴诚, 康慕谊, 纪文瑶, 江源. 内蒙古中部草原地下生物量与生物量分配对环境因子的响应关系. 草地学报, 2012, 20(2): 268-274.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.10 May, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Landscape sustainability and landscape sustainability science ····· ZHAO Wenwu, FANG Xuening (2453)

A diagnostic framework of payments for ecosystem services and associated case studies ····· ZHU Wenbo, WANG Yang, LI Shuangcheng (2460)

Progress in research of iron plaque on root surface of wetland plants ····· LIU Chunying, CHEN Chunli, GONG Xiaofeng, et al (2470)

Ecological effects of predator chemical cues in aquatic ecosystem ····· QIN Guangqiu, LU Haoliang, TANG Zhenzhu, et al (2481)

Secondary substances and their ecological effects on seed dispersal in vertebrate-dispersed fleshy fruit plants ····· PAN Yang, LUO Fang, LU Changhu (2490)

Autecology & Fundamentals

Responses of CH_4 uptake rates to simulated N deposition in a nature forest in mid-subtropical China ····· CHEN Chaoqi, YANG Zhijie, LIU Xiaofei, et al (2498)

Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to water-salt indicators in dry habitats of the southern marginal zones of the Tarim Basin, China ····· GONG Lu, ZHU Meiling, TASHPOLAT·Tiyip, et al (2509)

Threshold effect of soil moisture on photosynthetic and physiological parameters in *Rosa xanthina* L. and its photosynthetic productivity classification ····· ZHANG Shuyong, XIANG Jiangbao, ZHANG Guangcan, et al (2519)

Contrasting responses of soil respiration to litter manipulation in subtropical *Mytilaria laosensis* and *Cunninghamia lanceolata* plantations ····· YU Zaipeng, WAN Xiaohua, HU Zhenhong, et al (2529)

Potassium application for increased jasmonic acid content and defense enzyme activities of wheat leaves infested by aphids ····· WANG Yi, ZHANG Yueling, SU Janwei, et al (2539)

Combined effects of elevated O_3 concentration and reduced solar irradiance on photosynthetic activity and energy dissipation of winter wheat ····· SUN Jian, ZHENG Youfei, et al (2548)

Colonization dynamics of *Bacillus cereus* B3-7 on wheat roots and control efficiency against sharp eyespot of wheat ····· HUANG Qiubin, ZHANG Ying, LIU Fengying, et al (2559)

Quantitative study of water consumption characteristics of winter wheat under deficit irrigation ····· ZHANG Xingjuan, XUE Xuzhang, GUO Wenzhong, et al (2567)

Assessment on the ecological fitness of anti-fungal transgenic rice ····· LI Wei, GUO Jianfu, YUAN Hongxu, et al (2581)

A proteomic analysis of *Arachis hypogaea* leaf in responses to enhanced ultraviolet-B radiation ····· DU Zhaokui, LI Junmin, ZHONG Zhangcheng, et al (2589)

Composition of fatty acids from suspended particulate matter in southern South China Sea ····· LIU Huaxue, KE Changliang, LI Chunhou, et al (2599)

The influence of age, flock size, habitat, and weather on the time budget and the daily rhythm of wintering Siberian Cranes in Poyang Lake ····· YUAN Fangkai, LI Yankuo, LI Fengshan, et al (2608)

The energy budget and water metabolism heat regulation of tree sparrows *Passer montanus* of toba compensatory regeneration ····· YANG Zhihong, WU Qingming, YANG Miao, et al (2617)

The effect of low-dose of pesticide on predation of spider and its preliminary mechanisms ····· LI Rui, LI Na, LIU Jia, et al (2629)

Response of the alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Coleoptera: Chrysomelidae) to overwintering protection and its controlling effect on alligator weed *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthacese: Alternanthera) ····· LIU Yufang, WANG Xiuxiu, LI Fei, et al (2638)

Population, Community and Ecosystem

The effect of climate change on the population fluctuation of the Siberian crane in Poyang Lake ····· LI Yankuo, QIAN Fawen, SHAN Jihong, et al (2645)

Characteristics of soil phosphorus fractions in wetlands with various restoration age in caizi lake, Anhui Province ····· LIU Wenjing, ZHANG Pingjiu, DONG Guozheng, et al (2654)

Multivariate analysis of the relations between phytoplankton assemblages and environmental factors in Chagan Lake Wetland ····· LI Ranran, ZHANG Guangxin, ZHANG Lei (2663)

Diversity of methanogen communities in tidal freshwater and brackish marsh soil in the Min River estuary ····· ZENG Zhihua, YANG Minhe, SHE Chenxing, et al (2674)

The influence of environment and phylogenic background on variation in leaf and fine root traits in the Yanhe River catchment, Shaanxi, China ····· ZHENG Ying, WEN Zhongming, SONG Guang, et al (2682)

Changes of soil properties in re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in hengyang of Hunan Province, South-central China ····· YANG Ning,ZOU Dongsheng,YANG Manyuan,et al (2693)

Vulnerability assessment on the mangrove ecosystems in qinzhou bay under sea level rise ····· LI Shasha, MENG Xianwei, GE Zhenming, et al (2702)

Dynamics of biomass and productivity of three major plantation types in southern China ····· DU Hu, ZENG Fuping, WANG Kelin, et al (2712)

Fungal diversity in *Cunninghamia lanceolata* plantation soil ····· HE Yuanhao, ZHOU Guoying,WANG Shenjie,et al (2725)

Response of sandy vegetation characteristics to precipitation change in Horqin Sandy Land ····· ZHANG Lamei, LIU Xinping, ZHAO Xueyong, et al (2737)

Characteristics of carbon storage and sequestration of *Robinia pseudoacacia* forest land converted by farmland in the Hilly Loess Plateau Region ····· SHEN Jiapeng, ZHANG Wenhui (2746)

Landscape, Regional and Global Ecology

Forest microclimate change along with the succession and response to climate change in south subtropical region ····· LIU Xiaodong, ZHOU Guoyi, CHEN Xiuzhi, et al (2755)

Drought variations of winter wheat in different growth stages and effects of climate trend in Huang-Huai-Hai Plain, China ····· XU Jianwen,JU Hui,LIU Qin,et al (2765)

Resource and Industrial Ecology

A method of environment assessment of mineral resources planning for shanxi provinces base on GIS ····· LIU Wei, DU Peijun,LI Yongfeng (2775)

A new approach to assess the water footprint of hydropower: a case study of the Miyun reservoir in China ····· ZHAO Dandan, LIU Junguo,ZHAO Xu (2787)

《生态学报》2014 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研工作者,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研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,280 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　祖元刚　　**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 34 卷　第 10 期　(2014 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 10 (May, 2014)

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
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
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
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
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
订　　购	全国各地邮局
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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q　　国内外公开发行　　国内邮发代号 82-7　　国外发行代号 M670　　定价 90.00 元