

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

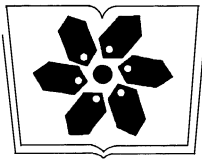
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **2012**

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



# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期 2012 年 7 月 (半月刊)

## 目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系 .....	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性 .....	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系 .....	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构 .....	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响 .....	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化 .....	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理 .....	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
<b>专论与综述</b>	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述 .....	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展 .....	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现 .....	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
<b>研究简报</b>	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用 .....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 37 \* 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

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



DOI: 10.5846/stxb201106050751

裴厦, 谢高地, 李士美, 陈龙. 典型草地的土壤保持价值流量过程比较. 生态学报, 2012, 32(13): 4025-4033.

Pei S, Xie G D, Li S M, Chen L. Soil conservation value flow processes of two typical grasslands. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4025-4033.

## 典型草地的土壤保持价值流量过程比较

裴厦<sup>1,2</sup>, 谢高地<sup>1,\*</sup>, 李士美<sup>3</sup>, 陈龙<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 山东省东营市林业局, 东营市 257091)

**摘要:** 内蒙古温带草原和海北高寒草甸的土壤侵蚀以风力侵蚀为主。利用改良的风力侵蚀模型, 比较分析了这两类草地生态系统土壤保持价值日流量过程和累积过程。结果表明, 风力侵蚀条件下, 草地生态系统的土壤保持服务是离散的, 不连续的, 与风速和植被盖度直接相关。土壤保持价值构成以保持土壤养分为主。内蒙古温带草原的年潜在侵蚀量和年现实侵蚀量都高于海北高寒草甸。但是, 内蒙古温带草原的土壤保持年价值高于海北高寒草甸, 是海北高寒草甸年价值的 7 倍。春季和秋季是内蒙古温带草原潜在侵蚀量、现实侵蚀量和土壤保持量最高的两大季节。海北高寒草甸的潜在侵蚀量和现实侵蚀量主要分布在 12 月份到翌年 4 月份, 土壤保持量主要分布在春季和夏季。

**关键词:** 土壤保持价值; 流量过程; 风力侵蚀; 草地生态系统

## Soil conservation value flow processes of two typical grasslands

PEI Sha<sup>1,2</sup>, XIE Gaodi<sup>1,\*</sup>, LI Shimei<sup>3</sup>, CHEN Long<sup>1,2</sup>

1 Institute of Geographic Sciences and Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

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

3 Dongying Forestry Bureau of Shandong Province, Dongying 257091, China

**Abstract:** Grassland is the largest land resources by area in China. It plays an important role in food production, carbon fixation and sequestration, O<sub>2</sub> release, soil and water conservation, water supply, nutrient recycling, entertainment, and biodiversity sustaining, among which, soil conservation is one of the most essential services delivered by grassland ecosystem. There have been few studies specially focusing on soil conservation value of grassland ecosystem till now, although soil conservation has historically been emphasized in the practice of grassland management, resulting in limited understanding about the mechanism of soil conservation of grassland especially at spot scale. Therefore, the dynamic flow processes of soil conservation value of grassland at spot scale are urgent to be researched. In the context, the study targeted at the dynamic processes of soil conservation of two kinds of typical grasslands: Neimenggu Temperate Grassland and Haibei Alpine Meadow. Due to that soil erosion of both the selected grassland ecosystems was mainly caused by wind, on the basis of simplicity and scientificity, we chose the Pasak wind erosion model and improved it through the input of factors to assess wind induced soil erosion. The accuracy of the model was tested by the existing research results of other scientists. Related data were from Chinese Ecosystem Research Net (CERN). The soil conserved by grassland was the subtraction of soil eroded under vegetation coverage — the actual soil erosion, from the soil eroded without vegetation — the potential soil erosion. The soil conservation value was calculated using the method of shadow price and opportunity cost. The results showed that the soil conservation service supplied by grassland ecosystems was discrete, which was highly related to the wind velocity and vegetation coverage. The annual soil conservation value of Neimenggu Temperate Grassland was at 1.06×

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(2009CB421106); 国家自然科学基金(31070384)

**收稿日期:** 2011-06-05; **修订日期:** 2011-11-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiegd@igsnrr.ac.cn

$10^4 \text{ ¥/hm}^2$ , while that of Haibei Alpine Meadow was at  $1520 \text{ ¥/hm}^2$ . The soil nutrient conservation was dominant in soil conservation service, contributing as high as 99% to the total soil conservation value. Both the potential and actual soil erosion of Neimenggu Temperate Grassland was higher than those of Haibei Alpine Meadow in a year. And the annual soil conservation value of Neimenggu Temperate Grassland was far bigger, 7 times as much as that of Haibei Alpine Meadow. The soil conservation service of grasslands was distributed differently in each season. The potential and actual soil erosion and the soil conservation in Neimenggu Temperate Grassland mainly happened in spring and autumn, while in Haibei Alpine Meadow the potential and actual soil erosion mainly occurred during December to April in the next year and the soil conservation in spring and summer. It was concluded that the soil conservation value of grassland has a clear changing pattern during a year with wind velocity and vegetation coverage. The high soil conservation value of grasslands under wind, especially in the sandy areas, calls upon us to take efforts to save grassland from destruction and keep grassland healthy.

**Key Words:** soil conservation value; flow process; wind erosion; grassland ecosystem

生态系统服务是一个流量过程<sup>[1-2]</sup>,即生态系统服务随着时间呈动态变化。然而,迄今为止,对生态系统服务价值的核算多是静态的,关于流量过程的研究工作仍然较薄弱<sup>[3-6]</sup>。Chan 等指出,正是由于在局地 and 区域尺度上对生态系统服务流量过程的认知不足,导致无法形成一套系统方法来规划生态系统服务<sup>[3]</sup>。因此,局地尺度上的生态系统服务流量过程研究意义重大,有利于加强生态系统服务形成机理的认知,同时为生态系统服务保护工作提供依据。

土壤风蚀是我国干旱、半干旱地区严重的生态环境问题之一。内蒙古温带草原和海北高寒草甸的土壤侵蚀以风力侵蚀为主<sup>[7-8]</sup>。草地植被通过分散近地表风动量、削弱风力对地表物质的作用、截留部分被蚀物质等形式抑制风蚀、保护地表<sup>[9]</sup>,提供重要的土壤保持服务。目前,在草地生态系统服务评估中,核算土壤保持价值的成果很多<sup>[10-15]</sup>,但是大多是静态的、基于年尺度和区域尺度上的研究,缺少小尺度上的关于草地生态系统土壤保持服务的动态机理和过程研究。同时,已有的研究在评估土壤保持价值时,并未明确区分侵蚀类型的区别,比如风力侵蚀、水力侵蚀的影响因子和计算方法不同。本研究基于中国生态系统定位研究网络(CERN)数据,利用风蚀模型,定量评价了海北高寒草甸和内蒙古温带草原风力侵蚀下土壤保持服务的价值,对比分析了这两种类型的草地土壤保持服务价值的流量过程和累积过程,刻画了土壤保持服务价值的动态变化过程,有利于揭示草地生态系统土壤保持服务价值的形成机理。

董治宝等的研究表明空气动力粗糙度同时取决于植物密度和风速,总的变化规律是,随着植物密度的增大而增大,随着风速的增大而减小<sup>[16]</sup>。因此,可以将有无植被覆盖下的土壤侵蚀量之差作为植被覆盖下的土壤保持量。目前,由于风蚀的复杂性,国际上并无统一的风力侵蚀预测模型。国外关于风力侵蚀的模型有年尺度上的风蚀方程、Bocharov 模型、德克萨斯侵蚀分析模型、风蚀评价模型、修正风蚀方程等<sup>[17]</sup>。这些模型大都是基于田块建立的,适用于农田生态系统。此外,还有事件模型 Pasak 模型等。国内有王训明建立的随机模型<sup>[18]</sup>,董治宝建立的小流域风蚀流失量模型<sup>[19]</sup>,臧英等建立的旱地保护性耕作土壤风蚀模型<sup>[20]</sup>。本研究的目标为草地生态系统,而且时间尺度为日,在简便可行的原则基础上,采用 Pasak 风蚀模型,并根据植被覆盖度和风速对公式中的参数进行了一定的修订。价值量的计算采用影子价格法和机会成本法。

## 1 研究区概况

### 1.1 内蒙古温带草原生态系统

内蒙古温带草原生态系统定位研究站位于内蒙古高原锡林河流域,地处  $43^{\circ}38'N$ ,  $116^{\circ}42'E$ , 海拔 1100 m。气候属中温带半干旱草原气候,冬季寒冷干燥,夏季温和湿润。年均气温  $-0.4^{\circ}C$ 。年均降雨量 350 mm 左右,降雨量年际变化较大,变化幅度常在 30% 以上。降雨量月际间差异很大,主要集中于 6—9 月份,约占全年降水量的 80%。羊草群落和大针茅群落是该区分布最广的植物群落,对欧亚大陆温带草原具有广泛的代表性。栗钙土是本区的主要土类。

## 1.2 海北高寒草甸生态系统

海北高寒草甸生态系统实验站,位于青藏高原的东北隅,地处  $37^{\circ}29' - 37^{\circ}45'N$ ,  $101^{\circ}12' - 101^{\circ}23'E$  之间。具有典型的高原大陆性气候,东南季风及西南季风微弱。高海拔条件制约,气温极低,无明显的四季之分,植物非生长季(10月—翌年4月)漫长而寒冷,生长季(5—9月)短暂而湿润。地区年均气温  $-1.7^{\circ}C$ ; 年降水量 580 mm 左右,主要集中于 5—9 月,占年降水量的 80% 左右,10 月—翌年 4 月仅为年降水量的 20%。高寒草甸和高寒灌丛是海北站地区的两种主要植被类型。土壤的主要类型为高山草甸土、高山灌丛草甸土和沼泽土。

## 2 研究方法

### 2.1 土壤侵蚀量

帕萨克(Pasak)模型计算公式如下:

$$E = 22.02 - 0.72P - 1.69V + 2.64R_r \quad (1)$$

式中, $E$  为风蚀量( $kg/hm^2$ ); $P$  为不可蚀颗粒所占百分比; $V$  为土壤相对湿度; $R_r$  为风速( $km/h$ )<sup>[21]</sup>。利用植被覆盖度,通过引入起沙风速概念,对公式中的风速  $R_r$  进行了修订。根据相关文献<sup>[22]</sup>,将粒径大于 1.00mm 的土壤颗粒作为不可蚀颗粒,然后根据土壤的机械组成,计算不可蚀颗粒所占百分比。风速采用时风速计算。

实际风速只有达到起沙风速时,土壤侵蚀才会发生。利用青海共和盆地半干旱典型草原地区的临界风速与地表覆盖率之间的关系<sup>[23]</sup>,计算海北高寒草甸的临界起沙风速:

$$U_0 = 5.56158 + 1.63299e^{(VC/38.6747)} \quad r^2 = 0.974 \quad (2)$$

式中, $U_0$  为起沙的临界风速( $m/s$ ), $VC$  为植被覆盖度( $\%$ )。

研究报道,内蒙古的起沙风速为  $6m/s$ <sup>[24]</sup>,内蒙古后山地区草地覆盖率为 22% 的风蚀临界风速为  $12m/s$ ,覆盖率为 60% 的临界风速为  $14m/s$ ,覆盖率为 86% 时没有明显的临界风蚀速度<sup>[25]</sup>,根据此计算内蒙古温带草原的临界起沙风速。

比较现实风速和起沙风速,在现实风速大于起沙风速的情况下,根据公式(1)计算风力侵蚀量。

### 2.2 价值量计算方法

风力侵蚀下,土壤保持量的价值主要体现在保持土壤养分、减少土地废弃、减少沙尘天气三部分。由于目前在减少沙尘天气方面尚没有好的评价方法,因此本文主要考虑土壤养分的保持和废弃土地的减少两部分价值。

保持土壤养分的经济价值主要指生态系统保持土壤中 N、P、K 营养元素的经济价值,根据土壤养分的平均含量,计算生态系统保持土壤营养物质的经济价值:

$$V_a = A_c(C_N P_N T_N + C_P P_P T_P + C_K P_K T_K) \quad (3)$$

式中, $V_a$  为保持土壤养分价值( $元/hm^2$ ), $C_N$ 、 $C_P$ 、 $C_K$  分别为土壤中全氮、全磷、全钾含量( $\%$ ); $P_N$ 、 $P_P$ 、 $P_K$  分别为 N、P、K 肥市场价格( $元/t$ )。  $T_N$ 、 $T_P$ 、 $T_K$  分别为全氮、全磷和全钾折算成碳酸氢铵、过磷酸钙和氯化钾的系数,分别为 5.882、3.373 和 1.667。

根据土壤保持量和土壤厚度来推算因土壤保持而减少的废弃土地面积,再用机会成本法计算得到减少土地废弃的经济价值<sup>[26-27]</sup>:

$$V_b = A_c B / (\rho \cdot h \cdot 10000) \quad (4)$$

式中, $V_b$  为减少土地废弃的经济价值( $元/hm^2$ ); $\rho$  为土壤容重( $t/m^3$ ); $h$  为土壤厚度( $m$ ); $B$  为土地年均收益( $元/hm^2$ )。海北高寒草甸的土壤容重为  $1.03 t/m^3$ ,土壤厚度为 0.5 m;内蒙古温带草原的土壤容重为  $1.27 t/m^3$ ,土壤厚度为 0.5 m。

土壤保持总价值为两部分之和:

$$V = V_a + V_b \quad (5)$$

### 2.3 数据来源

植被盖度、风速和土壤相对湿度选用 2005 年数据,其中植被盖度和风速来源于海北高寒草甸生态系统和内蒙古温带草原生态系统定位研究站的监测数据,土壤相对湿度来源于国家气候中心网站。不可蚀颗粒所占比重和土壤营养物质含量来源于文献数据<sup>[22,28-29]</sup>

## 3 结果与分析

### 3.1 现实侵蚀量

海北高寒草甸和内蒙古温带草原的现实年土壤侵蚀量分别为  $11.15 \text{ t/hm}^2$  和  $63.95 \text{ t/hm}^2$ ,根据土壤侵蚀标准<sup>[30]</sup>,2005 年海北高寒草甸风力侵蚀强度为轻度,内蒙古温带草原为强度风力侵蚀。海北高寒草甸的风力侵蚀主要发生在 12 月份—翌年 4 月份;5—11 月份的土壤侵蚀量为零,其中 5—9 月份是海北高寒草甸植被生长最好的时候。内蒙古温带草原的风力侵蚀主要发生在春季(3—5 月份),占全年风力侵蚀量的 73%,这与内蒙古温带草原春季多大风有关。夏季、秋季和冬季的风力侵蚀量接近(图 1)。

### 3.2 潜在侵蚀量

海北高寒草甸和内蒙古温带草原的潜在年土壤侵蚀量分别为  $30.74 \text{ t/hm}^2$  和  $187.16 \text{ t/hm}^2$ ,其中内蒙古的研究结果与欧阳志云等的研究所采用的侵蚀模数的低限  $192 \text{ t/hm}^2$  接近<sup>[31]</sup>。海北高寒草甸的潜在风力侵蚀也主要发生在 12 月份—翌年 4 月份,这 4 个月的潜在侵蚀量占全年总潜在侵蚀量的 71%。内蒙古温带草原的潜在侵蚀量出现一大一小两个峰值,分别是春季(3—5 月)和秋季(9—11 月)。其中,春季的侵蚀量占全年总侵蚀量的 49%,秋季的占 28%(图 2)。

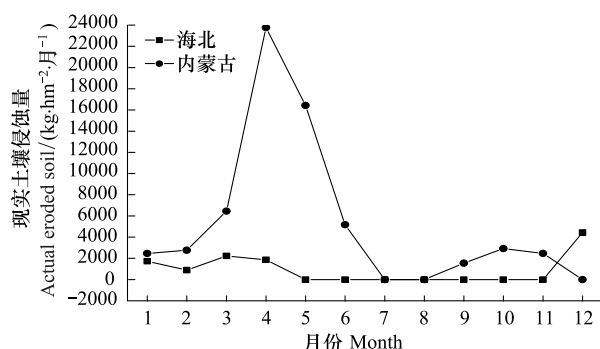


图 1 草地生态系统现实土壤侵蚀量

Fig. 1 Actual eroded soil of grasslands

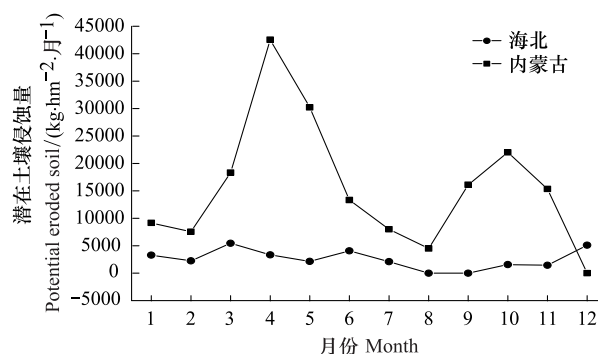


图 2 草地生态系统潜在土壤侵蚀量

Fig. 2 Potential eroded soil of grasslands

### 3.3 土壤保持服务流量过程

#### 3.3.1 日流量过程

草地生态系统土壤保持服务的提供是非连续的,离散的(图 3,图 4)。只有在风速大于起沙风速时,草地生态系统阻止风力侵蚀土壤的功能才发挥。日土壤保持量的大小取决于当日风速、植被覆盖和潜在土壤侵蚀量的大小。

2005 年,海北高寒草甸提供防止土壤风蚀服务的天数为 26d,日均土壤保持量和土壤保持价值分别为  $54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $4 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ;内蒙古温带草原提供防止土壤风蚀服务的天数为 112d,日均土壤保持量和土壤保持价值分别为  $338 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $29 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。可见,海北高寒草甸防止土壤风蚀服务的天数和日均土壤保持总量和价值都远小于内蒙古温带草原。

#### 3.3.2 月流量过程

海北高寒草甸的月均土壤保持量和土壤保持价值都低于内蒙古温带草原,分别为  $1632 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ ,  $127 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ 和  $10267 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ ,  $882 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ 。2005 年,海北高寒草甸和内蒙古温带草原分别有 10 个月和 11 个月在防止土壤风蚀发生(图 5 和图 6)。其中,海北高寒草甸土壤月保持量和价值最大月份为 6 月,



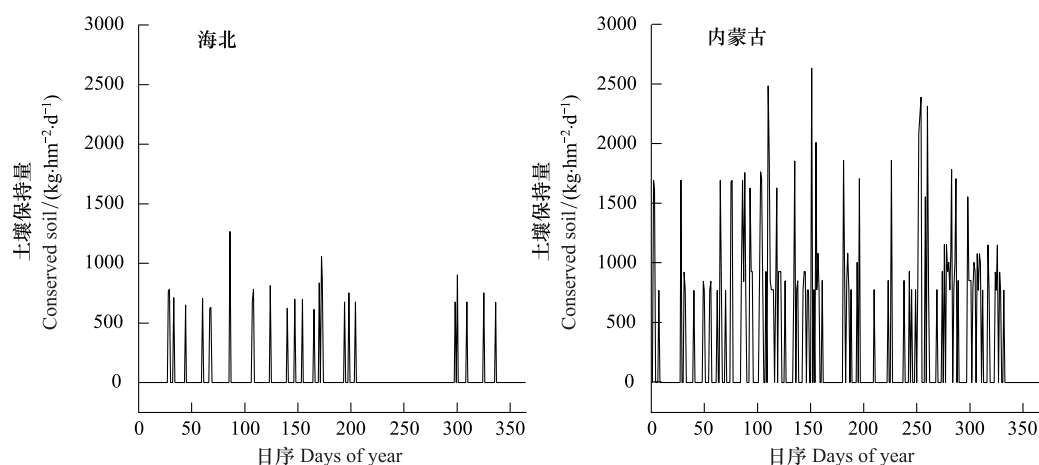


图3 草地生态系统土壤保持日流量过程

Fig.3 Daily flow processes of soil conserved by grasslands

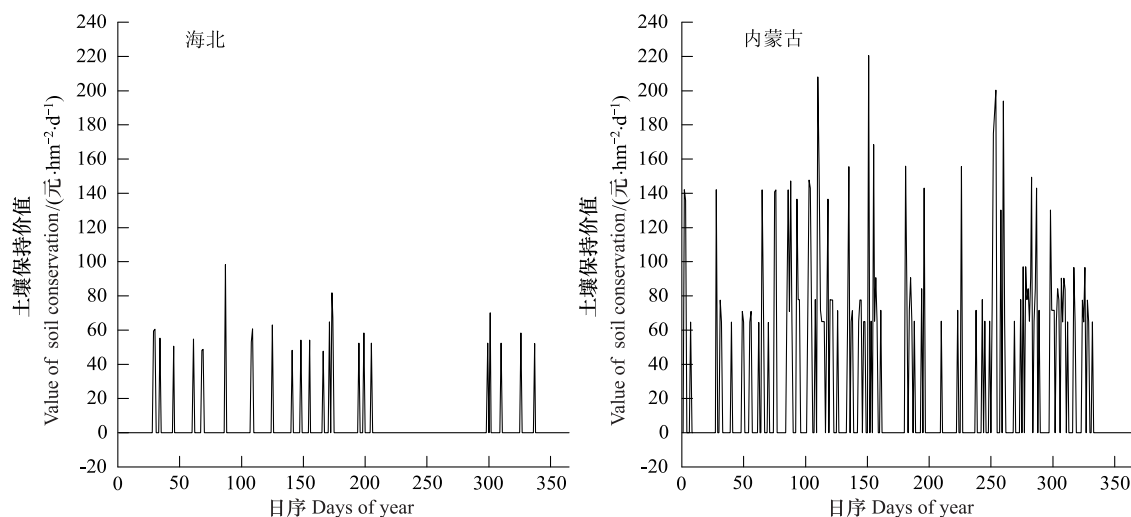


图4 草地生态系统土壤保持价值日流量过程

Fig.4 Daily flow processes of soil conservation value of grasslands

内蒙古温带草原为10月。此外,在内蒙古温带草原,4月份的土壤保持量和土壤保持价值与10月份的相比相差不大,在4月和10月各呈现一个峰值。

比较两种草原生态系统土壤保持服务分布发现,海北高寒草甸主要在春季和夏季防止土壤风蚀发生,土壤保持量和价值在春夏季所占的比例分别为34.85%和31.51%;内蒙古温带草原则主要在春季和秋季防止土壤风蚀发生,土壤保持量和价值在春秋两季所占的比例分别为37.79%和36.79%(表1)。

### 3.3.3 价值累积过程

一年中,尽管草地生态系统在风蚀条件下保持土壤功能的发挥是离散的,但是土壤保持价值是逐渐累积的。内蒙古温带草原和海北高寒草甸土壤保持价值累积过程呈现上升趋势,内蒙古温带草原土壤保持累积价值始终处于海北高寒草甸之上(图7)。海北高寒草甸的年土壤保持量和价值分别为19.59 t/hm<sup>2</sup>,1520元/hm<sup>2</sup>;内蒙古温带草原的年土壤保持量和价值分别为123.32 t/hm<sup>2</sup>,1.06×10<sup>4</sup>元/hm<sup>2</sup>。其中,内蒙古温带草原的土壤保持年价值量介于石益丹的研究成果中中牧和重牧两种情景下土壤保持价值量之间(1.30×10<sup>4</sup>—0.73×10<sup>4</sup>元/hm<sup>2</sup>)<sup>[32]</sup>。土壤保持价值构成中,保持土壤养分价值所占比例高达99%,减少废弃地的价值所占比例还不足1%,这与草地的经济价值低有关。

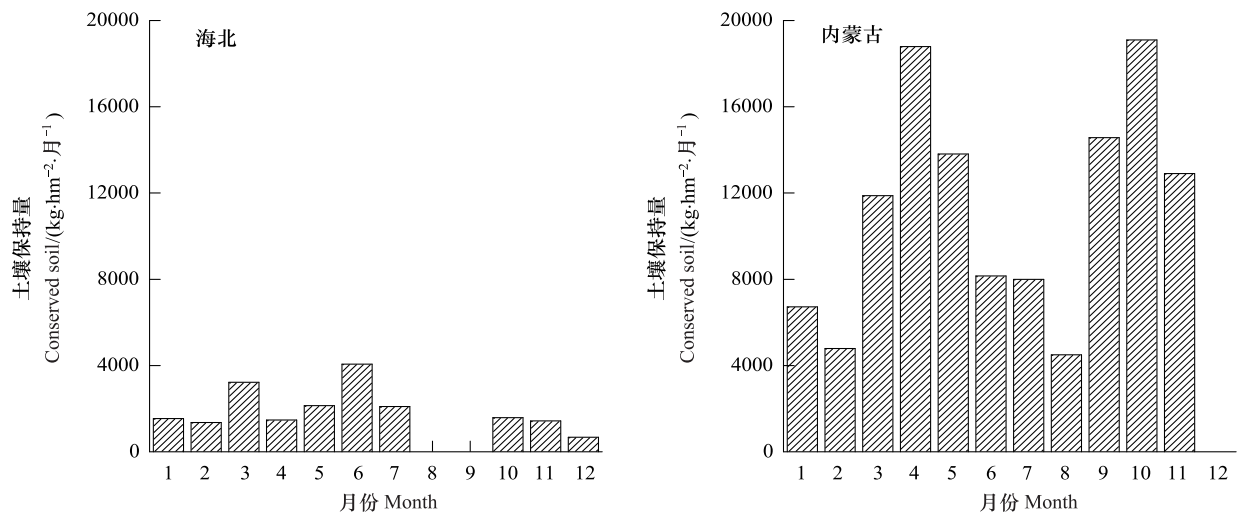


图5 草地生态系统月土壤保持量  
Fig.5 Monthly soil conserved by grasslands

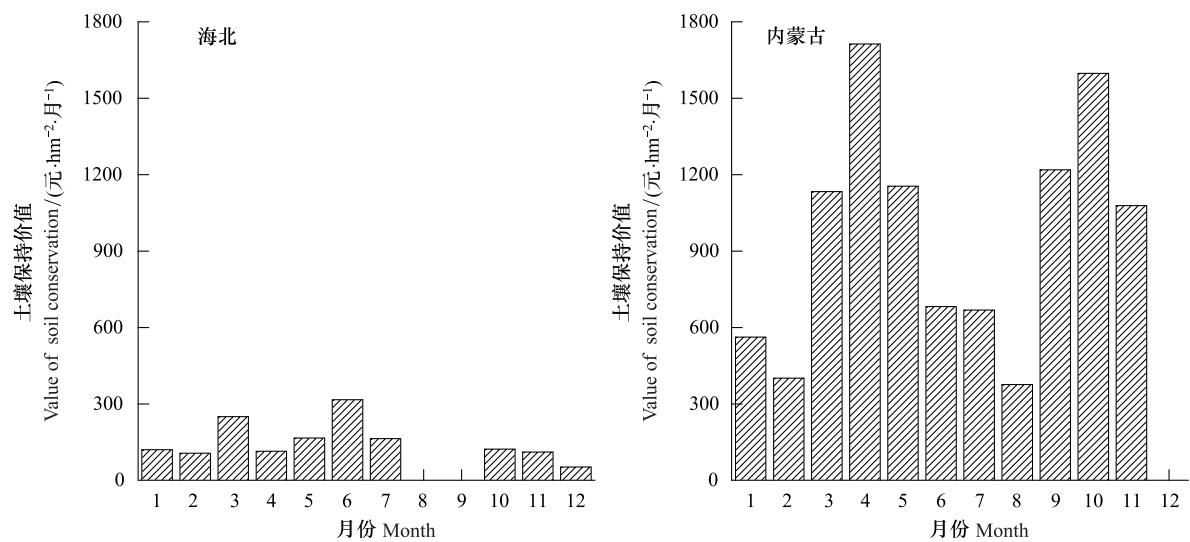


图6 草地生态系统土壤保持月价值  
Fig.6 Monthly value of soil conserved by grasslands

4 讨论

目前,专门进行生态系统土壤保持服务的研究并不多,大部分都包含在生态系统服务综合价值评价中。而且,所涉及到的土壤保持价值研究主要是运用土壤侵蚀模数进行的静态计算,很少考虑土壤侵蚀类型的区别和土壤侵蚀机理,这难以真正反映生态系统状态和服务之间的关系。因此,需要从土壤侵蚀机理出发,在微观尺度上对生态系统保持土壤的服务进行动态研究。李士美等在研究森林生态系统服务流量过程中利用 USLE 模型分析了江西省千烟洲人工林<sup>[3]</sup>,以及西双版纳3种森林和长白山两种森林在水力侵蚀下土壤保持服务的价值<sup>[4]</sup>,揭示了不同类型森林

表1 草地生态系统保持土壤服务价值季节比例/%

Table 1 Percent of seasonal soil conserved by grasslands under wind

季节 Season	海北高寒草甸 Haibei alpine meadow	内蒙古温带草原 Neimenggu temperate grassland
春季 Spring	34.85	37.79
夏季 Summer	31.51	16.32
秋季 Autumn	15.35	36.79
冬季 Winter	18.29	9.10



生态系统防止水力侵蚀服务的动态变化机理和差异。本研究运用风蚀模型,结合影子价格法和机会成本法计算了海北高寒草甸和内蒙古温带草原在风力侵蚀条件下保持土壤的价值,刻画了两种草地生态系统类型防止风力侵蚀土壤服务的年内动态变化过程,在一定程度上可以揭示草地生态系统类型、状态和土壤保持服务间的关系。

本研究选用 Pasak 模型,并对其进行了一定的修订,来计算风力侵蚀的大小。选用该模型,一方面是因为其他大部分风力侵蚀模型是基于农田实验基础上<sup>[17]</sup>,另一方面本研究的时间尺度为日,而其他大部分研究的时间尺度为年。虽然, Pasak 模型为单一事件模型,但在本研究中的风速采时风速,这弥补了单一事件模型的不足。此外,本研究引入了起沙风速的概念,使得模型的计算更加科学合理。本研究计算出的内蒙古温带草原潜在侵蚀量与欧阳志云等的研究接近<sup>[32]</sup>,年土壤保持价值也与石益丹的研究成果接近<sup>[33]</sup>,这说明该方法是可行的,具有一定的准确性。

不可蚀颗粒所占比重与土壤类型和气候条件有关,本文所采用的 1mm 粒径是内蒙古地区的研究成果。由于海北高寒草甸相关研究资料少,因此,本研究亦采用 1mm 作为该地区的可蚀颗粒的临界值,给土壤保持价值服务计算结果带来一定的偏差。这在下一步的研究中需要进一步完善。

同一地点的潜在风力侵蚀量的大小主要与风力有关,风速越大,侵蚀量越大。现实侵蚀量的大小受风力、植被的综合影响。海北高寒草甸在 3 月份、6 月份和 12 月份的潜在侵蚀量接近,但是,6 月份的现实侵蚀量为零。这主要是 6 月的植被生长条件比 3 月和 12 月好得多的原因。

内蒙古温带草原风蚀土壤保持年价值为海北高寒草甸年价值的 7 倍,这主要是因为内蒙古地区的累积起沙风速高于海北地区,植被覆盖条件下,内蒙古地区的年累积起沙风速是海北地区的 9 倍。但是,这并不意味着海北高寒草甸在防风固沙作用弱,恰恰相反,由于海北高寒地区的土层比较薄,易遭到风蚀侵害,因此,海北高寒草甸防止土壤风蚀的作用非常重要。

## 5 结论

本研究利用改良的风力侵蚀模型,研究了这两个草地生态系统土壤保持价值日流量过程和累积过程,一定程度上揭示了草地生态系统状态和服务之间的关系。结果表明:

(1) 一年中,草地生态系统防止土壤发生风蚀的服务是离散的,不连续的,一定的植被覆盖度下,只有在风速大于临界起沙风速时才提供保持土壤服务的功能。土壤保持价值的大小主要与植被覆盖度、风速、潜在侵蚀量以及影子价格和机会成本的大小相关。内蒙古温带草原的年潜在侵蚀量和现实侵蚀量都高于海北高寒草甸,但是,土壤保持年价值却是海北高寒草甸的 7 倍。

(2) 两种生态系统发挥土壤保持功能的季节不同,内蒙古温带草原土壤保持服务主要集中在春季和秋季,海北高寒草甸主要集中在春季和夏季。

(3) 草地生态系统在防止风蚀方面的服务价值很高,尤其是在风沙大的地区,研究表明内蒙古温带草原土壤保持年价值达  $1.06 \times 10^4$  元/hm<sup>2</sup>,海北高寒草甸的为 1520 元/hm<sup>2</sup>,因此,要采取措施,保障草地生态系统的可持续利用和发展。

**致谢:** 计算数据主要由中国生态系统研究网络 CERN 提供,特此致谢。

## References:

- [1] Hou Y Z, Wu S R. Recent process on theory & method of ecosystem valuation and rectification on the related concepts popular in China. World

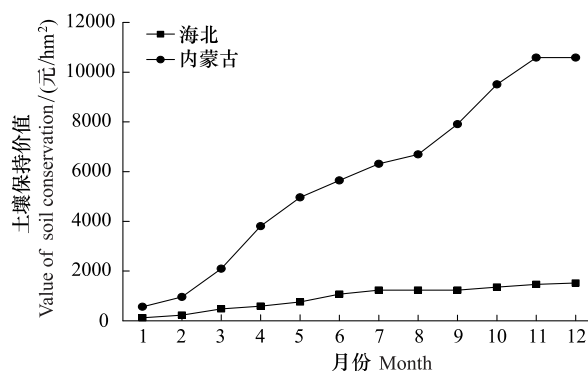


图 7 草地生态系统土壤服务价值累积过程

Fig. 7 Cumulative processes of soil conservation value of grasslands

- Forestry Research, 2008, 21(5): 7-16.
- [ 2 ] Estelle D, Murray P, Alec M. A Framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 2010, (69): 1858-1868.
- [ 3 ] Li S M, Xie G D, Zhang C X, Gai L Q. Flow processes of forest ecosystem services: a case study on Qianyanzhou Plantation, Jiangxi Province. *Resources Science*, 2010, 32(5): 831-837.
- [ 4 ] Li S M, Xie G D, Zhang C X, Qi Y. Intra- annual dynamics of soil conservation value in forest ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3482-3490.
- [ 5 ] Li S M, Xie G D, Zhang C X, Gai L Q. Flow process of water conservation service of forest ecosystem. *Journal of Natural Resource*, 2010, 25(4): 585-593.
- [ 6 ] Li S M, Xie G D, Yu G R, Zhang C X, Gai L Q. Seasonal dynamics of gas regulation service in forest ecosystem. *Journal of Forestry Research*, 2010, 21(1): 99-103.
- [ 7 ] Zhao H X, Wang X D. A study on soil erosion in Inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1994, 8(4): 35-42.
- [ 8 ] Ju S C. Remote sensing analysis of soil erosion in east Qinghai. *Qinghai Geology*, 2002, (1): 54-59.
- [ 9 ] Stephen A W, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress in Physical Geography*, 1993, 17(1): 50-68.
- [ 10 ] Xie G D, Zhang Y L, Lu C X, Zheng D, Cheng S K. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(1): 47-53.
- [ 11 ] Xie G D, Lu C X, Xiao Y, Zheng D. The economic evaluation of grassland ecosystem services in Qinghai- Tibet plateau. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(1): 50-55.
- [ 12 ] Zheng S H, Wang K, Zhao M L, Han G D, Feng Y F. Primary evaluation of the indirect value on rangeland ecosystem services in Northern agro-pastoral ecotone: a case study in Taipusi banner and buan league. *Pratacultural Science*, 2009, 26(9): 18-23.
- [ 13 ] Yu G, Lu C X, Xie G D. Seasonal dynamics of ecosystem services of grassland in Qinghai- Tibet Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 47-51.
- [ 14 ] Jiang L P, Tan Z H, Xie W, Wang R j, Xu B, Lu Q. Grassland ecosystem services value of China using remote sensing data. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(2): 161-170.
- [ 15 ] Wang J, Wei Y M, Sun X Y. Effects of excessive grazing on grassland eco-system service valuation. *Journal of Natural Sciences*, 2006, 21(1): 109-117.
- [ 16 ] Dong Z B, Donald W F, Gao S Y. Modeling the roughness effect of blown-sand-controlling standing vegetation in wind tunnel. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(3): 260-263.
- [ 17 ] Dong Z B, Gao S Y, Dong G R. A review of wind erosion prediction research. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(4): 312-317.
- [ 18 ] Wang X M, Dong Z B, Wu S Z, Chen G T. A stochastic model of processes of soil wind erosion. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(1): 19-22.
- [ 19 ] Dong Z B. Establishing statistic model of wind erosion on small watershed basis. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1998, 18(5): 55-62.
- [ 20 ] Zang Y, Gao H W. A model of soil erosion under conservation tillage. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(2): 1-7.
- [ 21 ] Humberto B, Rattan L. Principles of Soil Conservation and Management. [ 2011-05-15 ]. <http://www.docin.com/p-120178118.html>.
- [ 22 ] Zhou X M. Kobresia meadows in China. Beijing: Science Press, 2001: 86-101.
- [ 23 ] Zhang C L, Zou X Y, Dong G Y, Liu Y Z. Wind tunnel studies on influences of vegetation on soil wind erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3): 31-33.
- [ 24 ] Jin Z P, Shi P J. A study on the soil erosion processes in the semiarid region of inner Mongolia. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1987, 1(2): 55-66.
- [ 25 ] Sun Y C. Test research on soil resistance to wind erosion effect in the different surface coverage in Houshan area of Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2008.
- [ 26 ] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, Wang X K. Forest ecosystem services and their ecological valuation: a case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan Island. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 481-484.
- [ 27 ] Xiao Y, Xie G D, An K. The function and economic value of soil conservation of ecosystems in Qinghai- Tibet plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2367-2378.
- [ 28 ] Dong Z B, Chen G T. A preliminary insight into the wind erosion problem in Houshan area of inner mongolia. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, 3(2): 84-90.
- [ 29 ] Xu Z Q, Min Q W, Wang Y S, Li W H, Xu Q. Impact of human disturbances on soil nutrient contents of typical grassland. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(5): 38-42.

- [30] Standards for classification and gradation of soil erosion. SL 190-96. China Water Power Press, 1997.
- [31] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological- economic values. *Acta Ecologica Sinica*. 1999, 19(5): 607-613.
- [32] Shi Y D. Evaluation of the ecosystem services of Hulunbeier grassland[D]. Beijing: Chinese Academy of Agriculture Sciences, 2007.

#### 参考文献:

- [1] 侯元兆,吴水荣. 生态系统价值评估理论方法的最新进展及对我国流行概念的辩正. *世界林业研究*,2008,21(5):7-16.
- [3] 李士美,谢高地,张彩霞,盖力强. 森林生态系统服务流量过程研究——以江西省千烟洲人工林为例. *资源科学*,2010,32(5):831-837.
- [4] 李士美,谢高地,张彩霞,祈悦. 森林生态系统土壤保持价值的年内变化. *生态学报*,2010,30(12):1-9.
- [5] 李士美,谢高地,张彩霞,盖力强. 森林生态水源涵养服务流量过程研究. *自然资源学报*,2010,25(4):585-593.
- [7] 赵焕勋,王学东. 内蒙古土壤侵蚀灾害研究. *干旱区资源与环境*,1994,8(4):35-42.
- [8] 巨生成. 青海省东部土壤侵蚀特征遥感分析. *青海地质*,2002,(1):54-59.
- [10] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,郑度,成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*,2001,16(1):47-53.
- [11] 谢高地,鲁春霞,肖玉,郑度. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估. *山地学报*,2003,21(1):50-55.
- [12] 郑淑华,王瑩,赵萌莉,韩国栋,冯雨峰. 北方农牧交错区草地生态系统服务间接价值的初步评估——以太仆寺旗和沽源县境内为例. *草业科学*,2009,26(9):18-23.
- [13] 于格,鲁春霞,谢高地. 青藏高原草地生态系统服务功能的季节动态变化. *应用生态学报*,2007,18(1):47-51.
- [14] 姜立鹏,覃志豪,谢雯,王瑞杰,徐斌,卢琦. 中国草地生态系统服务功能价值遥感估算研究. *自然资源学报*,2007,22(2):161-170.
- [15] 王静,尉元明,孙旭映. 过牧对草地生态系统服务价值的影响——以甘肃省玛曲县为例. *自然资源学报*,2006,21(1):109-117.
- [16] 董治宝,Donald W F,高尚玉. 直立植物防沙措施粗糙特征的模拟实验. *中国沙漠*,2000,20(3):260-263.
- [17] 董志宝,高尚玉,董光荣. 土壤风蚀预报研究评述. *中国沙漠*,1999,19(4):312-317.
- [18] 王训明,董治宝,武生智,陈广庭. 土壤侵蚀过程的一类随机模型. *水土保持通报*,2001,21(1):19-22.
- [19] 董治宝. 建立小流域风蚀量统计模型初探. *水土保持通报*,1998,18(5):55-62.
- [20] 臧英,高焕文. 旱地保护性耕作土壤风蚀模型研究. *干旱地区农业研究*,2006,24(2):1-7.
- [22] 周兴民. 中国嵩草草甸. 北京:科学出版社,2001:86-101.
- [23] 张春来,邹学勇,董光荣,刘玉璋. 植被对土壤风蚀影响的风洞实验研究. *水土保持学报*,2003,17(3):31-33.
- [24] 金争平,史培军. 内蒙古半干旱地区土壤侵蚀过程的研究——以内蒙古准格尔旗为例. *干旱区资源与环境*,1987,1(2):55-66.
- [25] 孙悦超. 内蒙古后山地区不同地表覆盖条件下土壤抗风蚀效应测试研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [26] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,王效科. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. *应用生态学报*,2000,11(4):481-484.
- [27] 肖玉,谢高地,安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. *生态学报*,2003,23(11):2367-2378.
- [28] 董治宝,陈广庭. 内蒙古后山地区土壤风蚀问题初论. *土壤侵蚀与水土保持学报*,1997,3(2):84-90.
- [29] 许中旗,闵庆文,王英舜,李文华,许晴. 人为干扰对典型草原生态系统土壤养分状况的影响. *水土保持学报*,2006,20(5):38-42.
- [30] 土壤侵蚀强度分类分级标准. SL 190-96. 中国水利水电出版社,1997.
- [31] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*,1999,19(5):607-613.
- [32] 石益丹. 呼伦贝尔草地生态系统服务功能价值评价[D]. 北京:中国农业科学院,2007.



CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments .....	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations .....	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity .....	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county .....	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia .....	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands .....	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China .....	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen .....	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity .....	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve .....	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils .....	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake .....	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary .....	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region .....	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China .....	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation .....	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland .....	ZHOU Ling, WANG Zhaohui, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model .....	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009 .....	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland .....	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods .....	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae) .....	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinwen, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe .....	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i> .....	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary .....	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region .....	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i> .....	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China .....	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban .....	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve .....	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis .....	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi .....	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
<b>Review and Monograph</b>	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review .....	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain .....	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification .....	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
<b>Scientific Note</b>	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress .....	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callyspongia</i> sponge extracts .....	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 13 (July, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	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

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元