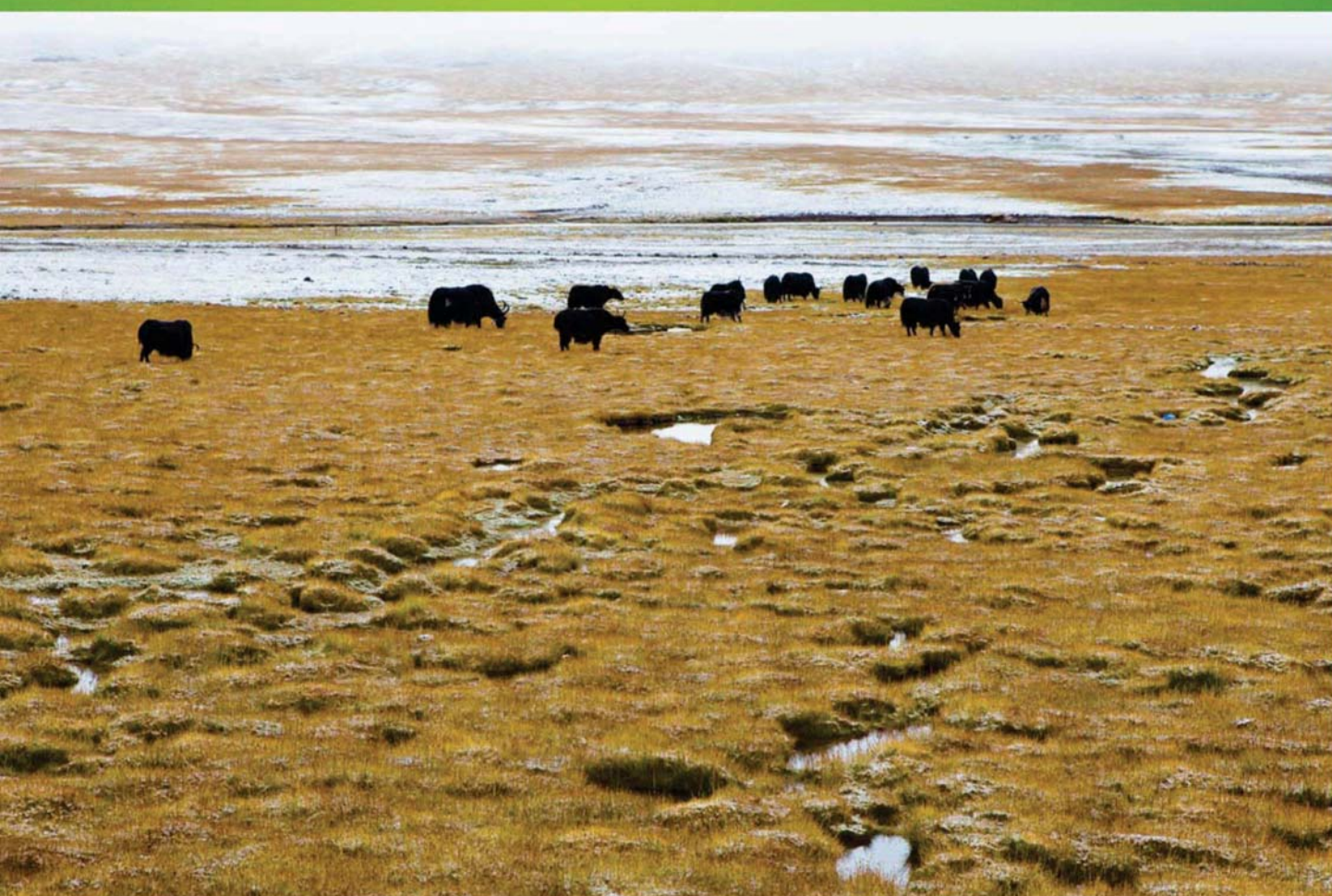


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第16期 Vol.33 No.16 **2013**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 16 期 2013 年 8 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 物种分布模型理论研究进展..... 李国庆,刘长成,刘玉国,等 (4827)
- 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展..... 金姝兰,黄益宗 (4836)
- 藤壶金星幼虫附着变态机制 ..... 饶小珍,林 岗,许友勤 (4846)
- 群居动物中的共同决策..... 王程亮,王晓卫,齐晓光,等 (4857)

### 个体与基础生态

- 季风进退和转换对中国褐飞虱迁飞的影响..... 包云轩,黄金颖,谢晓金,等 (4864)
- 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率..... 齐占会,王 珺,毛玉泽,等 (4878)
- 新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择..... 董 超,张国钢,陆 军,等 (4885)
- 我国特有植物青檀遗传结构的 ISSR 分析 ..... 李晓红,张 慧,王德元,等 (4892)
- 栽培菊花与菊属-近缘属属间杂种杂交后代耐盐性的遗传分析 ..... 许莉莉,陈发棣,陈素梅,等 (4902)
- 荒漠区植物光合器官解剖结构对水分利用效率的指示作用..... 张海娜,苏培玺,李善家,等 (4909)
- 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响..... 陈凯利,李建明,贺会强,等 (4919)
- 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系 ..... 白坤栋,蒋得斌,万贤崇 (4930)
- 施肥对板栗林地土壤 N<sub>2</sub>O 通量动态变化的影响 ..... 张蛟蛟,李永夫,姜培坤,等 (4939)
- 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响..... 刘希玉,王忠强,张心昱,等 (4949)

### 种群、群落和生态系统

- 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量..... 牟长城,王 彪,卢慧翠,等 (4956)
- 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段  
为例 ..... 许积层,唐 斌,卢 涛 (4966)
- 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构..... 倪宝龙,刘兆刚 (4975)
- 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素..... 蔡永久,姜加虎,张 路,等 (4985)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群年龄结构和性比..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (5000)
- 性信息素诱捕下害虫 Logistic 增长及经济阈值数学模型 ..... 赵志国,荣二花,赵志红,等 (5008)
- 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性..... 郑颖姘,钮羽群,崔桂玲,等 (5017)
- 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响 ..... 韩雪梅,李丹丹,梁子安,等 (5026)

### 景观、区域和全球生态

- 基于鸟类边缘种行为的景观连接度研究——空间句法的反规划应用..... 杨天翔,张韦倩,樊正球,等 (5035)
- 西南高山地区土壤异养呼吸时空动态..... 张远东,庞 瑞,顾峰雪,等 (5047)

江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素..... 赵明松,张甘霖,李德成,等 (5058)

基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征..... 张明阳,罗为检,刘会玉,等 (5067)

### 资源与产业生态

基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究 ..... 刘耕源,杨志峰,陈彬 (5078)

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价 ..... 张锐,郑华伟,刘友兆 (5090)

保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响 ..... 赵陟峰,王冬梅,赵廷宁 (5101)

### 城乡与社会生态

生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例 ..... 敖长林,陈瑾婷,焦扬,等 (5109)

### 研究简报

广东山区土壤有机碳空间变异的尺度效应..... 姜春,吴志峰,钱乐祥,等 (5118)

室内养殖雌性松鼠秋季换毛期被毛长度和保温性能变化..... 荆璞,张伟,华彦,等 (5126)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 306 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 32 \* 2013-08



**封面图说:** 高寒草甸牦牛群——三江源区位于青藏高原腹地,平均海拔 4200m,是长江、黄河、澜沧江三条大河的发源地,也是全球气候变化最敏感的地区。三江源区高寒草甸植被状况对该区的生态环境、草地资源合理利用和应对全球气候变化具有十分重要的意义。2005 年以来,国家投资 70 多亿元启动三江源生态保护工程。监测显示,近年来,三江源湖泊湿地面积逐步扩大,植被覆盖度得到提高,三江源区高寒草甸的生态恶化趋势得到遏制。图为冒着风雪在三江源高寒草甸上吃草的牦牛群。

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/stxb201212271884

牟长城, 王彪, 卢慧翠, 包旭, 崔巍. 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量. 生态学报, 2013, 33(16): 4956-4965.

Mu C C, Wang B, Lu H C, Bao X, Cui W. Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 4956-4965.

## 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量

牟长城\*, 王彪, 卢慧翠, 包旭, 崔巍

(东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨, 150040)

**摘要:**采用碳/氮分析仪测定法与标准木解析法, 研究大兴安岭 5 种典型天然沼泽湿地(草甸沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽和落叶松沼泽)的生态系统碳储量(植被和土壤)、净初级生产力、植被年净固碳量及其沿沼泽至森林方向过渡带水分环境梯度的分布格局, 揭示其空间变异规律性, 并定量评价寒温带 5 种典型天然沼泽湿地的碳储量与固碳能力及其长期碳汇作用。结果表明: ①5 种天然沼泽湿地的植被碳储量分布在  $(0.48 \pm 0.08) - (8.33 \pm 0.66) \text{ kgC/m}^2$  之间, 沿过渡带环境梯度呈递增趋势; ②土壤碳储量分布在  $(19.21 \pm 6.17) - (38.28 \pm 4.86) \text{ kgC/m}^2$  之间, 沿过渡带环境梯度却呈递减趋势; ③生态系统碳储量分布在  $(27.54 \pm 7.16) - (38.76 \pm 4.58) \text{ kgC/m}^2$  之间, 沿过渡带环境梯度基本呈恒定分布规律性, 且以湿地土壤碳储量占优势地位(69.8%—98.8%); ④植被净初级生产力分布在  $(0.68 \pm 0.10) - (1.08 \pm 0.12) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  之间, 毛赤杨沼泽最高, 草甸沼泽、灌丛沼泽、白桦沼泽居中, 落叶松沼泽最低, 且总体上低于温带森林湿地而高于寒温带天然落叶松林; ⑤植被年净固碳量分布在  $(0.32 \pm 0.09) - (0.51 \pm 0.06) \text{ kgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 毛赤杨沼泽最高(高于全球植被平均年净固碳量)、灌丛沼泽和白桦沼泽居中(达到或接近全球平均值)、草甸沼泽和落叶松沼泽最低(略低于全球平均值), 故这 5 种沼泽湿地均属于碳汇功能相对较强的湿地植被类型。

**关键词:**大兴安岭; 沼泽湿地; 生态系统碳储量; 净初级生产力; 固碳速率

## Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China

MU Changcheng\*, WANG Biao, LU Huicui, BAO Xu, CUI Wei

Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

**Abstract:** The ecosystem carbon storage (vegetation C storage and soil organic C storage), carbon sequestration and net primary productivity of five types of natural wetland (hassock wetland, shrubs wetland, *Alnus sibirica* var. *hirsuta* wetland, *Betula platyphylla* wetland and *Larix gmelinii* wetland) were studied by using Multi N/C 3100, HT 1300 Solids Module (Analytik Jena AG, Germany) and the sample tree analysis method in Daxing'anling of northeast China, so as to evaluate the carbon sinks of natural wetlands quantitatively and reveal the influences of environmental gradients on wetland carbon sinks. The results showed that: ①The vegetation carbon storage of five wetland types varied from  $(0.48 \pm 0.08)$  to  $(8.33 \pm 0.66) \text{ kg C/m}^2$ , which took on rising trends along the water environmental gradient from marsh to forest; ②The soil organic carbon storage of five wetland types varied from  $(19.21 \pm 6.17)$  to  $(38.28 \pm 4.86) \text{ kg C/m}^2$ , which took on lowering trends along this environmental gradient; ③The ecosystem carbon storage of these wetland types varied from  $(27.54 \pm 7.16)$  to  $(38.76 \pm 4.58) \text{ kg C/m}^2$ , which nearly took on constant trends along this environmental gradient, and the soil C pool all dominated in five kinds of ecosystem C pool (69.7%—98.8%); ④The net primary productivity (NPP) of five wetland types varied from  $(0.68 \pm 0.10)$  to  $(1.08 \pm 0.12) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , NPP of *Alnus sibirica* var. *hirsuta* wetland was the highest, that of *Larix gmelinii* wetland was the lowest, and NPP of others were in the middle level, and they generally were lower

基金项目: 国家“十二五”农村领域科技计划课题森林湿地生态系统功能恢复及优化技术与示范(2011BAD08B02-04)

收稿日期: 2012-12-27; 修订日期: 2013-07-02

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mcnefu@yahoo.com

than that of the temperate forested wetlands, but higher than that of the cold temperate larch forest; ⑤The vegetation net carbon sequestration (VNCS) of five wetland types varied from  $(0.32 \pm 0.09)$  to  $(0.51 \pm 0.06)$   $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , and VNCS of *Alnus sibirica* wetland was the highest (which was higher than the average of global vegetation net carbon sequestration), VNCS of shrubs wetland and *Betula platyphylla* wetland were in the middle level (reached or approached the average VNCS of global vegetation), VNCS of hassock wetland and *Larix gmelinii* wetland were lowest (but slightly lower than the average VNCS of global vegetation), therefore, five types of natural wetlands all have strong carbon sink function in Daxing'anling of northeast China.

**Key Words:** Daxing'anling; wetlands; ecosystem carbon storage; net primary productivity; net carbon sequestration

目前全球地表平均温度已上升 $(0.6 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ ,其主要诱因是人类化石燃料使用及土地利用与土地覆盖变化导致大气圈中 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 等温室气体浓度增加<sup>[1]</sup>。这就引发了对全球碳循环动态及其可被管理程度深入理解的需求,以便帮助稳定大气圈中 $\text{CO}_2$ 浓度<sup>[2]</sup>。

湿地因其具有巨大土壤碳库、高甲烷排放及其在泥炭形成、沉积物堆积与植物生物量积累等方面的固碳潜力,使其成为全球碳循环的重要组成部分(如泥炭地仅占全球陆地表面3%,却含有近1/3全球土壤碳库(16—33%))<sup>[3-4]</sup>。

然而,由于目前在全球湿地碳储量估算方面仍存在着诸多的不确定性,尚难以客观准确地估算全球湿地的碳储量,这在一定程度上限制了人们对湿地在全球碳循环及其减缓气候变化等方面所发挥的重要作用的深入认识。这些不确定性首先表现在湿地面积的不断减少,如自工业革命以来由于气候变化(变暖变干)和人为活动(如泥炭采掘、开垦湿地、排水造林及发展城市等)干扰影响,全球湿地总面积已减少68%<sup>[3,5-8]</sup>,这使得湿地碳储量估算无论是在局地、国家、区域和全球尺度上,还是在全球碳循环影响方面均存在着较大的不确定性<sup>[3,9-10]</sup>。其次,湿地碳储量测定方法上仍存在问题,例如,目前依据全球陆地土壤平均深度1m标准,得到全球湿地碳储量估计值为225 Pg (1Pg =  $10^{15}$  g)<sup>[7]</sup>,这与早期湿地碳储量估计值(180—249 Pg)<sup>[11-12]</sup>相一致;但有学者认为早期利用陆地土壤平均深度1m估计湿地碳储量不尽合理,这样可能低估了湿地碳储量,并采用平均泥炭层厚度230cm估计了北方和亚北极泥炭地碳储量,得到全球湿地碳储量估计值为445 Pg<sup>[3]</sup>,较早期估计值提高了近1倍。此外,其他学者则认为不同气候区的湿地碳储量变异性较大,而且还受到植被类型、景观及水文条件的强烈影响<sup>[3,9-10,13-15]</sup>。因此,目前尚有必要查清不同气候区域及不同湿地类型的分布面积和碳储量,方能最终实现全球湿地碳储量的准确估算。

全球泥炭湿地及其碳储量主要集中分布于温带和北方区域,热带区域仅占10—30%<sup>[7]</sup>,中国东北温带和寒温带气候区恰恰处于这一全球湿地集中分布区域之中,且以森林沼泽湿地为主体(主要分布于长白山和大、小兴安岭林区)的山地湿地面积达452.31万 $\text{hm}^2$ ,是我国森林沼泽湿地最集中的分布区<sup>[16-17]</sup>。目前国内有关东北山区森林湿地碳循环的研究主要集中在温室气体排放方面<sup>[18-31]</sup>,而有关其碳储量方面的研究尚属起步阶段<sup>[32-35]</sup>。

本文以我国寒温带大兴安岭沿沼泽至森林方向湿地过渡带环境梯度上依次分布的5种典型天然沼泽湿地(草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽和落叶松沼泽)为研究对象,采用碳/氮分析仪测定法与标准木解析法,研究天然湿地生态系统碳储量(植被和土壤)、净初级生产力、年固碳量及其沿湿地过渡带水分环境梯度的分布格局,揭示其空间变异规律性,并定量评价各沼泽湿地类型的生态系统碳储量与固碳能力,以便为深入了解寒温带天然沼泽湿地长期碳汇作用提供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于大兴安岭南翁河国家级自然保护区,处于北纬 $51^\circ 05' 07''$ — $51^\circ 39' 24''$ 、东经 $125^\circ 07' 55''$ —

125°50'05", 海拔高度一般为 500—800m, 气候属于寒温带大陆性季风气候, 年平均气温-3℃, 极端最低温度-48℃, 年日照时数 2500 h, 无霜期 90—100 d, 植物生长期为 110 d, 年降雨量 500 mm。本地区地带性土壤为棕色针叶林土壤, 此外还有暗棕壤、草甸土、沼泽土、泥炭土。地带性植被为寒温带针叶林, 但在宽阔平缓的谷地, 随地势升逐渐高, 地下水位逐渐降低, 积水周期逐渐变短, 积水逐渐减少, 泥炭层逐渐变薄, 形成了森林湿地过渡带水分环境梯度, 其上依次分布有草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽和落叶松沼泽等该地区主要天然沼泽湿地类型。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样地设置

本研究于 2011 年 5 月下旬即生长季初期进行样地设置, 首先在研究区选取典型的天然森林湿地过渡带, 然后沿着自沼泽到森林方向过渡带水分环境梯度, 依次设置草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽、落叶松沼泽五种沼泽湿地类型的标准地(各样地地下水位依次距地表 8—12cm、15—21cm、25—30cm、32—40cm 和 41—45cm)。标准地面积为 20m×30m, 每一沼泽类型均为 3 次重复, 共计设置 15 块固定标准地。于 2011 年 5 月(生长开始期)对标准地的林木进行了每木调查, 并在当年 9 月(生长结束期)对标准地的林木再次进行每木调查, 同时采集植被、土壤以及凋落物样品。试验地主要乔木树种为兴安落叶松(*Larix gmelinii*), 白桦(*Betula platyphlla*)和毛赤杨(*Alnus sibirica* var. *hirsuta*), 灌木层主要有油桦(*Betula ovalifolia*)、笃斯越橘(*Vaccinium uliginosum*)和细叶杜香(*Ledum palustre*), 草本层主要有薹草(*Carex schmidtii*)、白毛羊胡子草(*Eriophorum vaginatum*)和小叶章(*Calamagrostis angustifolia*)。

### 1.2.2 植被碳储量测定

乔木层生物量调查: 首先对落叶松沼泽、白桦沼泽、毛赤杨沼泽各标准地中胸径大于 4cm 林木进行每木检尺; 然后按 2 cm 划分径级选取各径级标准木(在各类型标准地附近相同林分中选取), 其中落叶松、白桦和毛赤杨各 12 株, 共计选择 36 株标准木, 并实测标准木的树干、树枝、树叶、树根的生物量。通过建立胸径与生物量的回归方程(表 1), 即  $W = a(D^b)$ ,  $W$  为各器官生物量,  $D$  为林木的胸径,  $a$ 、 $b$  为系数, 通过计算进行拟合, 进而结合林分径级分布计算出天然状态下各沼泽类型乔木层的生物量。

灌木层与草本层生物量测定: 在每个标准地(20 m×30 m)的中心与四角设置 5 个 2 m×2 m 灌丛样方, 随机设置 10 个 1 m×1 m 的草丛样方, 采用收获法, 获取灌木层与草本层地上与地下的生物量鲜重, 并对其进行取样, 在 70℃ 下烘干至恒重, 计算两者含水率, 得到灌、草丛生物量干重。

凋落物生物量测定: 于秋季落叶后在各样地中分别设置 10 个 20 cm×20 cm 的样方, 收集其中全部凋落物装入封口袋, 带回实验室, 在 70℃ 下烘干至恒重, 得到凋落物的生物量。

植被碳储量测定: 利用碳/氮分析仪 Multi N/C 3100 和 HT 1300 Solids Module (Analytik Jena AG, Germany) 通过 1300℃ 干烧法测定乔木层、灌木层、草本层、凋落物层有机碳含量, 然后用各组分的生物量乘以碳含量, 可得到乔木层、灌木层、草本层与凋落物层的碳储量, 将四者相加即可获得植被的碳储量。

### 1.2.3 土壤碳储量测定

在每个标准样地中心, 以“品”字形设置 3 个土壤剖面, 共计调查土壤剖面 45 个。由于土层较浅, 50 cm 以下即为母质层, 下层取样深度到 50 cm 为止。确定土壤剖面后, 用土壤环刀(100 cm<sup>3</sup>) 在 0—50 cm 每 10 cm 为一取样层, 土样用铝盒封装, 带回实验室在烘箱 105℃ 下烘干 24 h 后, 测定其土壤容重; 同时同一土层深度取约 500 g 土样装入样品袋, 带回实验室风干后, 取出其中大于 2 mm 的根系或岩石后, 在 70℃ 下烘干 24 h, 研磨粉碎后过 2 mm 土壤筛, 利用 Multi N/C 3100 分析仪和 HT1300 Solid Module (Analytik Jena A G, Germany) 测定土壤有机碳含量, 并利用以下公式计算土壤有机碳储量。

某一土层  $i$  的有机碳密度(SOC <sub>$i$</sub> , kg/m<sup>2</sup>)的计算公式为:

$$\text{SOC}_i = C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 100 \quad [36]$$

式中,  $C_i$  为土壤有机碳含量 (g/kg),  $D_i$  为容重 (g/cm<sup>3</sup>),  $E_i$  为土层厚度 (cm),  $G_i$  为直径大于 2 mm 的石砾所

占的体积百分比(%)。

如果某一土壤剖面由  $k$  层组成,那么该剖面的碳密度( $\text{SOC}_t, \text{kg}/\text{m}^2$ )<sup>[36]</sup>为:

$$\text{SOC}_t = \sum_{i=1}^k \text{SOC}_i = \sum_{i=1}^k C_i \times D_i \times E_i \times (1 - G_i) / 100$$

#### 1.2.4 净初级生产力和植被年净固碳量测定

乔木层净初级生产力是通过计算 2011 年 5 月(生长开始期)和 9 月(生长停止期)生物量的差值得到,灌木层净初级生产力为其生物量除以平均年龄(5a)<sup>[35,37]</sup>,草本层净初级生产力为其地上部分与地下部分当年生物量加和(地上部分全部视为当年生,地下部分选取靠近茎干、颜色较浅部分作为当年生新根);乔木层、灌木层、草本层的年净固碳量通过各自的年净初级生产力与其相应的碳含量的乘积获得,将三者加和即可达到各沼泽类型的植被年净固碳量。

#### 1.2.5 数据处理

文中数据均采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用最小显著差异法(LSD)分析不同数据组间的差异性,显著性水平设置为  $\alpha=0.05$ 。

表 1 大兴安森林沼泽群落建群种兴安落叶松、白桦和毛赤杨相对生长方程

Table 1 Relative growth equations for *Larix gmelinii*, *Betula platyphlla* and *Alnus sibirica* var. *hirsuta* of forested wetlands in Daxing'anling of China

树种 Species	组分 Component	生物量方程 Growth equation for biomass	$R^2$	显著性 Sig Significance	标准误 SE Standard Error
兴安落叶松 Lg	干 Trunk	$W = 0.0317D^{2.6930}$	0.9927	0.0000	0.1555
	枝 Branch	$W = 0.0054D^{2.8282}$	0.9547	0.0000	0.5615
	叶 Leaf	$W = 0.0141D^{1.9130}$	0.9593	0.0096	0.8542
	皮 Bark	$W = 0.3354D^{1.1251}$	0.9893	0.0000	0.0948
	根 Root	$W = 0.0095D^{2.8779}$	0.9763	0.0000	0.4947
	单木 Tree	$W = 0.1319D^{2.4147}$	0.9949	0.0004	0.1842
白桦 Bp	干 Trunk	$W = 0.0529D^{2.5638}$	0.9085	0.0001	0.2641
	枝 Branch	$W = 0.0002D^{3.7282}$	0.9297	0.0000	0.3114
	叶 Leaf	$W = 0.0002D^{3.5840}$	0.9041	0.0000	0.3358
	皮 Bark	$W = 0.0013D^{2.7120}$	0.9930	0.0005	0.1740
	根 Root	$W = 0.5995D^{0.9521}$	0.9482	0.0002	0.0174
	单木 Tree	$W = 0.0196D^{3.0264}$	0.9307	0.0000	0.0477
毛赤杨 As	干 Trunk	$W = 0.1077D^{2.0357}$	0.9901	0.0000	0.4517
	枝 Branch	$W = 0.0082D^{2.5948}$	0.9520	0.0004	0.1102
	叶 Leaf	$W = 0.0025D^{2.9009}$	0.9772	0.0001	0.2121
	皮 Bark	$W = 0.0006D^{2.9461}$	0.9922	0.0000	0.3114
	根 Root	$W = 0.2103D^{1.4050}$	0.9749	0.0003	0.2158
	单木 Tree	$W = 0.2393D^{1.9967}$	0.9928	0.0004	0.1510

W: 生物量 Biomass, kg; D: 胸径 Diameter at breast height, cm

## 2 结果与分析

### 2.1 大兴安岭 5 种天然沼泽湿地植被碳储量

由表 2 可以得到,大兴安岭 5 种典型天然沼泽湿地的植被碳储量存在较大差异性。沿着沼泽至森林方向过渡带水分环境梯度依次分布的草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽、落叶松沼泽的植被碳储量分布在(0.48±0.08)—(8.33±0.66)  $\text{kg}/\text{m}^2$ ,灌丛沼泽和 3 种森林沼泽的植被碳储量较草丛沼泽增加了 2.3 倍和 6.9—16.4 倍,且 3 种森林沼泽显著高于灌丛沼泽和草丛沼泽,白桦沼泽与落叶松沼泽显著高于毛赤杨沼泽( $P<0.05$ )。因此,大兴安岭 5 种典型天然沼泽湿地的植被碳储量沿过渡带环境梯度呈现出递增趋势。

此外,这5种天然沼泽湿地植被碳储量的垂直分配格局也不同。草丛沼泽的植被碳储量以草本层占优势地位(67.56%)、凋落物层次之(32.44%),且其草本层碳储量显著高于灌丛沼泽与森林沼泽的草本层(2.3倍和6.4—10.7倍,  $P < 0.05$ );灌丛沼泽植被碳储量以灌木层占优势地位(76.70%)、凋落物层次之(13.69%)、草本层比重最小(9.61%),其灌木层碳储量显著高于森林沼泽的灌木层(5.3—15.9倍,  $P < 0.05$ );3种森林沼泽植被碳储量均以乔木层占绝对优势地位(86.41%—93.64%)、凋落物层次之(4.77%—9.25%)、灌木层相对较小(0.89%—3.54%)、草本层比重最小(0.32%—1.25%),但三者乔木层的碳储量存在显著差异,白桦沼泽和落叶松沼泽乔木层碳储量为毛赤杨沼泽乔木层的2.4倍和2.1倍( $P < 0.05$ )。由此可见,草丛沼泽和灌丛沼泽植被碳储量相对较低主要源于垂直组织层次不完整(前者缺乏乔木层和灌木层,后者缺乏乔木层);毛赤杨沼泽植被碳储量之所以居于中等主要是源于乔木层碳储量相对较低。

表2 大兴安岭5种典型天然沼泽湿地的植被碳储量及其分配

Table 2 Carbon storage and allocation proportion of five kinds of natural wetlands vegetation in Daxing'anling of China

指标 Item	层次 Layer	碳储量 Carbon storage/(kgC/m <sup>2</sup> )				
		草丛沼泽 H	灌丛沼泽 S	毛赤杨沼泽 A	白桦沼泽 B	落叶松沼泽 L
碳储量 Carbon storage	乔木层 Tree			3.30(0.70) A	7.79(0.46) B	6.87(2.32) B
	灌木层 Shrub		1.27(0.82) A	0.11(0.07) B	0.08(0.06) B	0.24(0.20) B
	草本层 Herb	0.32(0.09) A	0.14(0.02) B	0.05(0.01) C	0.03(0.01) C	0.03(0.01) C
	凋落物层 Litter	0.15(0.01) A	0.18(0.02) A	0.34(0.01) B	0.43(0.14) B	0.35(0.10) B
	植被 Vegetation	0.48(0.08) A	1.59(0.83) A	3.80(0.60) B	8.33(0.66) C	7.50(2.30) C
分配比/% Allocation	乔木层 Tree			86.41(4.78)	93.64(1.97)	91.27(5.28)
	灌木层 Shrub		76.70(10.03)	3.08(2.11)	0.89(0.63)	3.54(3.61)
	草本层 Herb	67.56(6.05)	9.61(3.01)	1.25(0.47)	0.32(0.06)	0.42(0.12)
	凋落物层 Litter	32.44(6.05)	13.69(7.02)	9.25(3.36)	5.14(1.32)	4.77(1.56)

表中给出数据是平均值,括号内为标准差;不同大写字母表示不同湿地类型植被碳储量差异显著( $P < 0.05$ ); H: haddock wetland; S: shrubs wetland; A: *Alnus sibirica* var. *hirsuta* wetland; B: *Betula platyphylla* wetland; L: *Larix gmelinii* wetland

## 2.2 大兴安岭5种天然沼泽湿地土壤碳储量

由表3可以得到,大兴安岭5种典型天然沼泽湿地的土壤碳储量存在显著差异性。沿沼泽至森林方向过渡带环境梯度依次分布的草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽、落叶松沼泽的土壤碳储量分布在(19.21±6.17)—(38.28±4.86) kgC/m<sup>2</sup>,灌丛沼泽和3种森林沼泽的土壤碳储量分别较草丛沼泽降低了13.6%和24.2%—49.8%,且5种天然沼泽湿地类型之间在土壤碳储量方面均存在着显著差异性( $P < 0.05$ )。因此,大兴安岭天然沼泽湿地土壤碳储量沿过渡带环境梯度呈现出递减趋势。

进一步分析得到5种天然沼泽湿地土壤碳储量的分布格局也存在差异性。在垂直分布上,草丛沼泽可分为0—40cm高碳储量层(19.9%—26.8%)和40—50cm低碳储量层(4.7%)2个土壤层;灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、落叶松沼泽、白桦沼泽均可分为0—30cm高碳储量层(20.0%—33.2%)、30—40cm中碳储量层(11.9%—16.1%)和40—50cm低碳储量层(4.2%—5.6%)3个土壤层,且呈现出随土壤深度增加而递减的分布规律性。可见,草丛沼泽以0—40cm土壤层占绝对优势地位(95.3%),灌丛沼泽和森林沼泽则以0—30cm土壤层占优势地位(79.7%—82.5%)。在水平分布上,草丛沼泽在0—40cm各土壤层中碳储量均显著高于3种森林沼泽相应的土壤层(12.0%—293.9%,  $P < 0.05$ ),仅在30—40cm土壤层显著高于灌丛沼泽(81.1%,  $P < 0.05$ );灌丛沼泽分别在10—20cm、0—40cm和10—30cm土壤层显著高于毛赤杨沼泽、白桦沼泽和落叶松沼泽(16.0%、32.5—137.5%、29.2%—81.7%,  $P < 0.05$ );毛赤杨沼泽分别在在0—40cm、20—30cm土壤层显著高于白桦沼泽和落叶松沼泽(21.0%—104.4%、51.2%,  $P < 0.05$ );落叶松沼泽仅在10—20cm土壤层显著高于白桦沼泽(22.9%,  $P < 0.05$ )。这说明各沼泽类型在0—40cm各土壤层中碳储量分布的差异性是导致其土壤碳储量沿过渡带环境梯度呈现递减型分布的主要原因。



表 3 大兴安岭 5 种典型天然沼泽湿地土壤有机碳储量及其分布特征

Table 3 Soil organic carbon storage and its vertical distribution of five kinds of wetlands in Daxing'anling of China

土壤深度 Soil depth/cm	碳储量 Carbon storage/(kgC/m <sup>2</sup> )				
	草丛沼泽 H	灌丛沼泽 S	毛赤杨沼泽 A	白桦沼泽 B	落叶松沼泽 L
0—10	7.63(0.62) Aa	7.46(0.91) ABa	6.81(0.72) Ba	5.63(0.94) Ca	6.30(0.39) Bca
10—20	10.27(1.73) Ab	10.13(1.71) Ab	8.73(0.89) Bb	6.38(1.54) Ca	7.84(1.51) Bb
20—30	9.62(1.52) Aab	9.12(1.69) ABb	7.59(1.40) Ba	3.84(2.15) Cb	5.02(2.20) Ca
30—40	8.98(4.24) Aab	4.96(1.01) Bc	4.66(0.57) Bc	2.28(2.39) Cbc	3.37(1.70) BCc
40—50	1.78(0.72) Ac	1.39(0.34) ABd	1.24(0.44) ABd	1.08(0.77) Bc	1.20(0.89) ABd
合计 Total	38.28(4.86) A	33.06(3.19) B	29.03(1.68) C	19.21(6.17) D	23.73(4.02) E

不同大写字母表示不同湿地类型土壤有机碳储量差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示不同土壤深度土壤有机碳储量差异显著 ( $P < 0.05$ )

### 2.3 大兴安岭 5 种天然沼泽湿地生态系统碳储量

由表 4 可以得到, 大兴安岭 5 种典型天然沼泽湿地的生态系统碳储量相近。沿沼泽至森林方向过渡带环境梯度依次分布的草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽、落叶松沼泽生态系统碳储量分布在  $(27.54 \pm 7.16) - (38.28 \pm 4.86)$  kgC/m<sup>2</sup>, 灌丛沼泽和 3 种森林沼泽的生态系统碳储量较草丛沼泽降低了 10.6% 和 15.3%—28.9%, 呈现出递减趋势, 但仅草丛沼泽与白桦沼泽之间存在着显著的差异性 ( $P < 0.05$ )。因此, 大兴安岭 5 种典型天然沼泽湿地的生态系统碳储量沿过渡带环境梯度基本上呈现恒定型分布格局。

此外, 各类型沼泽生态系统碳储量的组成结构有所不同。草丛沼泽和灌丛沼泽生态系统碳储量以土壤碳储量占绝对优势地位 (95.4%—98.8%), 植被碳储量仅占很少比重 (1.2%—4.6%); 森林沼泽生态系统的碳储量仍以土壤碳储量占优势地位 (69.8%—88.4%), 但植被碳储量所占比重有较大幅度增加 (11.6%—30.3%)。这说明各沼泽类型发挥碳汇功能的方式有所不同, 草丛沼泽和灌丛沼泽主要是以形成泥炭方式将碳素储存在土壤中, 而森林沼泽则以形成泥炭与积累植被生物量两种方式储存碳素。

表 4 大兴安岭五种天然沼泽湿地生态系统有机碳储量及其分配

Table 4 Ecosystem organic carbon storage and allocation proportion of five kinds of natural wetlands in Daxing'anling of China

指标 Item	层次 Layer	碳储量 Carbon storage/(kgC/m <sup>2</sup> )				
		草丛沼泽 H	灌丛沼泽 S	毛赤杨沼泽 A	白桦沼泽 B	落叶松沼泽 L
碳储量 Carbon storage	植被 Vegetation	0.48(0.08) A	1.59(0.83) A	3.80(0.60) B	8.33(0.66) C	7.50(2.30) C
	土壤 Soil	38.28(4.86) A	33.06(3.19) B	29.03(1.68) C	19.21(6.17) D	23.73(4.02) E
	生态系统 Ecosystem	38.76(4.58) A	34.65(3.77) AB	32.83(0.94) AB	27.54(7.16) B	31.23(6.69) AB
分配比/% Allocation	植被 Vegetation	1.24(0.25) A	4.59(1.79) A	11.57(1.50) B	30.25(6.02) C	24.01(2.06) D
	土壤 Soil	98.76(0.25) A	95.41(1.79) A	88.43(1.50) B	69.75(6.02) C	75.98(2.06) D

### 2.4 大兴安岭天然沼泽湿地植被净初级生产力与植被年净固碳量

由表 5 可以得到, 大兴安岭 5 种天然沼泽湿地植被净初级生产力与年净固碳量有所不同。草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽、落叶松沼泽净初级生产力分布在  $(0.68 \pm 0.10) - (1.08 \pm 0.12)$  kg·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 与净初级生产力最低的落叶松沼泽相比依次提高了 17.7%、30.9%、58.8%、27.9%, 但仅有毛赤杨沼泽为显著提高 ( $P < 0.05$ ); 植被年净固碳量分布在  $(0.32 \pm 0.09) - (0.51 \pm 0.06)$  kgC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 与年净固碳量最低的草丛沼泽和落叶松沼泽相比依次提高了 21.9%、59.4%、28.1%, 也仅有毛赤杨沼泽为显著提高 ( $P < 0.05$ )。因此, 大兴安岭 5 种天然沼泽湿地中毛赤杨沼泽的净初级生产力最高, 草丛沼泽、灌丛沼泽、白桦沼泽居中等, 落叶松沼泽最低; 且毛赤杨沼泽年净固碳量也最高, 灌丛沼泽和白桦沼泽居中等, 草丛沼泽和落叶松沼泽年净固碳量最低。

同时, 各沼泽湿地植被净初级生产力与年净固碳量在各组成层次上分布不同。草丛沼泽净初级生产力和年净固碳量仅由草本层所决定 (100.0%); 灌丛沼泽由灌木层和草本层组成, 以灌木层占优势地位 (61.8% 和

64.1%),草本层占次要地位(38.2%和35.9%);森林沼泽(毛赤杨沼泽、白桦沼泽、落叶松沼泽)由乔木层、灌木层和草本层组成,以乔木层占绝对优势地位(79.4%—88.5%和81.2%—90.3%),草本层次之(8.0%—11.1%和7.3%—9.8%),灌木层最低(3.5%—10.3%和2.4%—9.4%)。可见,灌丛沼泽的灌木层和草本层的净初级生产力或年固碳量约为6:4,森林沼泽的乔木层与林下植被的净初级生产力或年固碳量约为8:2或9:1,说明组成植被的次要层次在其生产力方面也具有一定程度的作用。

此外,各沼泽植被组成层次的初级生产力与年净固碳量沿过渡带环境梯度分布不同。草丛沼泽草本层的初级生产力和年净固碳量较灌丛沼泽、3种森林沼泽草本层提高了1.4倍、5.7—10.4倍和1.3倍、5.4—9.7倍,且三者之间均存在着显著差异性( $P < 0.05$ ),呈现出沿过渡带环境梯度而递减的分布规律性;灌丛沼泽灌木层的初级生产力和年净固碳量较3种森林沼泽灌木层提高了6.9—17.3倍和7.3—23.0倍,且两者之间差异显著( $P < 0.05$ );毛赤杨沼泽和白桦沼泽乔木层的净初级生产力和年净固碳量较落叶松沼泽乔木层提高了42.6%—68.5%和42.3%—69.2%,且前两者与后者之间差异显著( $P < 0.05$ )。正是由于这些植被组成层次的初级生产力与年净固碳量沿过渡带环境梯度分布不同,才形成了各类型沼泽植被的净初级生产力与年净固碳量沿过渡带环境梯度的分布格局。

表5 大兴安岭5种天然沼泽湿地植被净初级生产力与年植被净固碳量

Table 5 Net primary productivity and vegetation net carbon sequestration of five kinds of natural wetlands in Daxing'anling of China

指标 Item	层次 Layer	湿地类型 Type				
		草丛沼泽 H	灌丛沼泽 S	毛赤杨沼泽 A	白桦沼泽 B	落叶松沼泽 L
净初级 生产力 NPP /( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )	乔木层 Tree			0.91(0.15)A	0.77(0.03)A	0.54(0.06)B
	灌木层 Shrub		0.55(0.36)A	0.05(0.03)B	0.03(0.02)B	0.07(0.04)B
	草本层 Herb	0.80(0.21)A	0.34(0.05)B	0.12(0.03)C	0.07(0.01)C	0.07(0.01)C
	植被 Vegetation	0.80(0.21)AB	0.89(0.41)AB	1.08(0.12)B	0.87(0.04)AB	0.68(0.10)A
植被年净固 碳量 VNCS /( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )	乔木层 Tree			0.44(0.07)A	0.37(0.02)A	0.26(0.03)B
	灌木层 Shrub		0.25(0.16)A	0.02(0.01)B	0.01(0.01)B	0.03(0.02)B
	草本层 Herb	0.32(0.09)A	0.14(0.02)B	0.05(0.01)C	0.03(0.01)C	0.03(0.01)C
	植被 Vegetation	0.32(0.09)A	0.39(0.19)AB	0.51(0.06)B	0.41(0.02)AB	0.32(0.05)A

### 3 结论与讨论

#### 3.1 天然沼泽湿地植被碳储量

本研究得到大兴安岭5种典型天然沼泽湿地的植被碳储量( $0.48\text{—}8.33\text{ kgC}/\text{m}^2$ )沿湿地过渡带环境梯度呈递增规律性。这可能主要由于自沼泽到森林方向的过渡带存在着水分环境梯度(随着地势缓慢升高,地下水水位由距地表8—12cm逐渐降低至41—45cm),植物适应过渡带水分环境,依次形成了草丛沼泽、灌丛沼泽、毛赤杨沼泽、白桦沼泽、落叶松沼泽等湿地群落类型,其中草丛沼泽和灌丛沼泽由于缺少乔木层致使两者的植被碳储量相对较小,毛赤杨沼泽群落建群种毛赤杨为亚乔木种且寿命相对较短(30—35a)致使其植被碳储量高于前两者但低于后两者,而白桦沼泽和落叶松沼泽群落建群种白桦和落叶松均为乔木树种且寿命相对较长(前者70—80a、后者150—200a)能够积累相对较多的生物量及碳量,结果导致这些天然沼泽湿地的植被碳储量沿过渡带呈递增规律性。

此外,大兴安岭天然沼泽湿地的植被碳储量与北方森林植被固碳估计值 $4.0\text{—}6.4\text{ kgC}/\text{m}^2$ <sup>[38]</sup>相比,草丛沼泽和灌丛沼泽植被碳储量仅为其下限值的12.0%和39.8%,毛赤杨沼泽与其下限值接近(95.0%),而落叶松沼泽和白桦沼泽则高于其上限值(17.2%和30.2%)。因此,大兴安岭天然森林沼泽植被的碳储量与北方森林植被的碳储量相近或略高,但草丛沼泽和灌丛沼泽植被的碳储量却远低于北方森林。

#### 3.2 天然沼泽湿地土壤碳储量

本研究得到大兴安岭5种天然沼泽湿地的土壤碳储量( $19.2\text{—}38.3\text{ kgC}/\text{m}^2$ )沿湿地过渡带环境梯度呈递减规律性。分析其原因,可能其主要还是由于过渡带存在着水分环境梯度,在过渡带下部生境地积水严重,

形成了较厚的泥炭层(40—50cm),随着地势逐渐提高,积水逐渐减轻,泥炭层逐渐变薄,至过渡带上部生境地段泥炭层则降至最低值(15—20cm),结果导致其土壤碳储量沿过渡带呈现递减趋势。

进一步与我国天然林土壤碳储量( $10.9 \text{ kgC/m}^2$ )<sup>[39]</sup>和北方森林土壤碳储量( $8.5 \text{ kgC/m}^2$ )<sup>[37]</sup>相比较,大兴安岭5种天然沼泽湿地土壤碳储量为前者的1.8—3.5倍,后者的2.3—4.5倍,这说明沼泽湿地土壤的碳汇功能强于森林土壤。

### 3.3 天然沼泽湿地生态系统碳储量

本研究得到大兴安岭5种典型天然沼泽湿地的生态系统碳储量( $27.5—38.8 \text{ kgC/m}^2$ )沿过渡带环境梯度基本上呈恒定分布规律性。这可能主要是由于沿沼泽至森林方向过渡带水分环境梯度各类型沼泽湿地的植被碳储量总体上呈递增趋势,而土壤碳储量总体上呈递减趋势,两者综合作用导致各类型沼泽生态系统的碳储量相近。这一研究结果说明草丛沼泽、灌丛沼泽、森林沼泽在碳汇方面具有同等重要性,只是三者的固碳方式有所不同而以(草丛沼泽与灌丛沼泽以形成泥炭一种固碳方式为主,而森林沼泽则是以形成泥炭与树木生物量积累两种固碳方式同时发挥作用)。

此外,大兴安岭5种典型天然沼泽湿地的生态系统碳储量为北方森林生态系统碳储量( $12.5—14.9 \text{ kgC/m}^2$ )<sup>[38]</sup>的1.8—3.1倍,但接近北方泥炭地生态系统碳储量的下限值( $39—134 \text{ kgC/m}^2$ )<sup>[38]</sup>(低于下限值0.6%—29.5%),说明大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量高于北方森林但略低于北方泥炭地。这可能是由于其分布在北方泥炭地的南部边缘,温度相对较高,微生物分解过程相对较快,致使其土壤层泥炭积累速率有所降低。

### 3.4 天然沼泽湿地植被净初级生产力与年固碳量

大兴安岭5种天然沼泽湿地植被净初级生产力分布在 $0.68—1.08 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间(且毛赤杨沼泽最高,草丛沼泽、灌丛沼泽、白桦沼泽居中( $0.80—0.89 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ),落叶松沼泽最低),这一研究结果与现有中国东北植被净初级生产力( $0.6—1.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )<sup>[40-42]</sup>的研究结论相一致,接近温带森林沼泽植被净初级生产力( $1.0—1.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )<sup>[43-44]</sup>的下限,但一般均高于寒温带兴安落叶松天然林植被的净初级生产力( $0.76 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )<sup>[45]</sup>(仅落叶松沼泽略低(10.5%),其他4种沼泽类型提高幅度为5.3%—42.1%)。因此,寒温带大兴安岭天然沼泽湿地的植被净初级生产力整体上相对较高。

同时,大兴安岭天然沼泽湿地植被的年净固碳量分布在 $0.32—0.51 \text{ kgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间(且毛赤杨沼泽最高,灌丛沼泽和白桦沼泽居中等( $0.39—0.41 \text{ kgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ),草丛沼泽和落叶松沼泽最低( $0.32 \text{ kgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )),这与中国陆地植被固碳能力( $0.49 \text{ kgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )<sup>[46]</sup>和全球平均植被固碳能力( $0.41 \text{ kgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )<sup>[47]</sup>相比,仅毛赤杨沼泽植被固碳能力高于全国与全球平均值,灌丛沼泽和白桦沼泽达到或接近全球平均值,而草丛沼泽和落叶松沼泽植被固碳能力略低于全球平均值(22.0%)。因此,大兴安岭这5种典型天然沼泽湿地的植被固碳能力虽有所区别,但均属于碳汇功能相对较强的沼泽湿地植被类型。

### References:

- [ 1 ] Houghton J T, Maccarthy J J, Metz B. Climate Change 2001: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Impacts, Adaption, and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 267-269.
- [ 2 ] Canadell J G, Ciais P, Cox P, Heimann M. Quantifying, understanding and managing the carbon cycle in the next decades. *Clim. Change*, 2004, 67(2/3): 147-160.
- [ 3 ] Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological Applications*, 1991, 1(2): 182-195.
- [ 4 ] Maltby E, Immirzi P. Carbon dynamics in peatlands and other wetland soils regional and global perspectives. *Chemosphere*, 1993, 27(6): 999-1023.
- [ 5 ] Jenkinson D S, Adams D E, Wild A. Model estimates of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming. *Nature*, 1991, 351: 304-306.
- [ 6 ] Larson D L. Effects of climate on numbers of northern prairie wetlands. *Climatic Change*, 1995, 30(2): 169-180.
- [ 7 ] IPCC, Special Report: Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [ 8 ] Neher D A, Barbercheck M E, El-Allaf S M, AnasaO. Effects of disturbance and ecosystem on decomposition. *Applied Soil Ecology*, 2003, 23(2): 165-179.

- [ 9 ] Bai J, Ouyang H, Deng W, Zhu Y, Zhang X, Wang Q. Spatial distribution characteristics of organic matter and total nitrogen of marsh soils in river marginal wetlands. *Geoderma*, 2005, 124(1/2): 181-192.
- [ 10 ] Roulet N T. Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto protocol: prospects and significance for Canada. *Wetlands*, 2000, 20(4): 605-615.
- [ 11 ] Armentano T V, Menges E S. Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology*, 1986, 74(3): 755-774.
- [ 12 ] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, Stangenberger A G. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298, 156-159
- [ 13 ] Tolonen K, Vasander H, Damman A W H, Clymo R S. Preliminary estimate of long-term carbon accumulation and loss in 25 boreal peatlands. *Suo*, 1992, 43(4/5): 277-280.
- [ 14 ] Bockheim J G, Hinkel K M, Nelson F E. Predicting carbon storage in tundra soils of Arctic Alaska. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67(3): 948-950.
- [ 15 ] Moore T R, Turunen J. Carbon accumulation and storage in mineral subsoil beneath peat. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(2): 690-696.
- [ 16 ] Lang H Q. *Wetland Vegetation in China*. Bei jing: Science Press, 1999.
- [ 17 ] Li W H, Zhou X F, Liu X T. *Forest and Wetlands Restoration and Stratagem of Forest Development in Northeast, China*. Beijing, Science Press, 2007.
- [ 18 ] Gu H, Mu C C, Zhang B W, Yu L L. Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(19): 6044-6055
- [ 19 ] Gu H, Mu C C, Zhang B W. Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from *Alnus sibirica* forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(24): 7808-7817.
- [ 20 ] Mu C C, Zhang B W, Han L D, Yu L L, Gu H. Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from *Betula platyphylla*-forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(4): 857-865.
- [ 21 ] Yu L L, Mu C C, Gu H, Zhang B W. Effects of fire disturbance on greenhouse gas emission from *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(18): 5180-5191.
- [ 22 ] Sun X X, Mu C C, Song C C, Wu Y X. Effects of Cutting on Methane Flux from Forested Swamps in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(1): 190-194.
- [ 23 ] Sun X X, Mu C C, Song C C. Seasonal and spatial variations of methane emissions from montane wetlands in Northeast China. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(10): 1809-1816.
- [ 24 ] Mu C C, Cheng W, Sun X X, Wu Y X. Seasonal Variation of Emission Fluxes of CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from *Larix gmelinii* Swamps Soils in Xiaoxing'an Mountains of China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(7): 7-15
- [ 25 ] Mu C C, Liu X, Sun X X, Shi L Y, Feng D J, Cheng W, Wu Y X. Emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from broad-leaved forested swamp soils in Xiaoxing'an Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17): 4598-4608
- [ 26 ] Mu C C, Wu Y X, Li W S, Xu R. Effects of forest cutting on greenhouse gas emissions from *Larix gmelinii*-*Sphagnum* swamps in Lesser Xing'an Mountains of Heilongjiang, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 287-293
- [ 27 ] Shi L Y, Mu C C, Tian X M. CH<sub>4</sub> emission and its driving factors from different marshes in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5289-5295
- [ 28 ] Mu C C, Shi L Y, Sun X X. Fluxes and controls of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in a marsh wetland of Xiaoxing'an Mountains, Northeastern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(3): 617-623
- [ 29 ] Sun X X, Mu C C, Shi L Y, Cheng W, Liu X, Wu Y X, Feng D J. Methane emission from forested swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeastern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(3): 535-545
- [ 30 ] Sun X X, Mu C C, Feng D J, Liu X, Cheng W, Shi L Y. Effects of wetland draining for forestation on methane emissions in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4251-4259
- [ 31 ] Liu X, Mu C C, Li W S, Feng D J, Yu B. Emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from *Alnus sibirica* swamps and the response to human disturbance in the Xiaoxing'an Mountains. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(12): 2642-2650
- [ 32 ] Li W S, Mu C C, Wu Y X, Xu R. Productivity and Vegetation Carbon Density of Natural Swamp Forests in Lesser Xing'an Mountains, Heilongjiang. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(8): 39-44
- [ 33 ] Zhou W C, Mu C C, Liu X, Gu H. Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of *Betula platyphylla* and *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(20): 6387-6395.
- [ 34 ] Zhou W C, Mu C C, Liu X, Gu H. Carbon Sink in Natural Swamp Forest Ecosystems in Lesser Xing'an Mountains. *Journal of Northeast Forestry University*, 2012, 40(7): 71-75, 127.
- [ 35 ] Mu C C, Lu H C, Wang B, Bao X, Cui W. Short-term effects of harvesting on carbon storage of boreal *Larix gmelinii*-*Carex schmidtii* forested wetlands in Daxing'anling, northeast China. *Forest Ecology and Management*, 2013, 293(1): 140-148.
- [ 36 ] Yang J Y, Wang C K. Soil carbon storage and flux of temperate forest ecosystems in northeastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2875-2882
- [ 37 ] Giese L A B, Aust W M, Kolka R K, Trettin C C. Biomass and carbon pools of disturbed riparian forests. *Forest Ecology and Management*, 2003, 180(1/3): 493-508.
- [ 38 ] Blais A M, Lorrain S, Plourde Y, Varfalvy L. Organic carbon densities of soils and vegetation of tropical, temperate and boreal forests. *Environmental Science and Engineering*, 2005, 155-185

- [39] Liu S R, Wang H, Luan J W. A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5437-5448
- [40] Zhang X Z. Estimating and distribution of the vegetation net primary productivity in China *Resources Science*, 1993, 1: 15-21
- [41] Zhou G S, Zhang X S. Study on NPP of natural vegetation in China under glonal climate change. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1996, 20(1): 11-19
- [42] Mao D H, Wang Z M, Luo L, Han J X. Dynamic changes of vegetation net primary productivity in permafrost zone of Northeast China in 1982—2009 in response to global change. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(6): 1511-1519
- [43] Campbell C. Net primary production and standing biomass in northern continental wetlands. Inf. Rep. NOR-X-369, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Center, Edmonton, Alberta, 2000.
- [44] Trettin C C, Jurgensen M F, Gale M R, McLaughlin J W, McFee W W. Soil carbon in northern forested wetlands: impacts of silvicultural practices. *Carbon forms and functions in forest soils*, 1995: 437-461.
- [45] Wu G, Feng Z W. Study on the biomass of larch spp. forest community in the frigid-temperate zone and the temperate zone of China. *Journal of Northeast Forestry University*, 1995, 23(1): 95-101.
- [46] He H, Pan Y Z, Zhu W Q, Liu X L, Zhang Q, Zhu X F. Measurement of terrestrial ecosystem service value in China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(6): 1122-1127
- [47] Li Y P, Ji J J. Simulations of Carbon Exchange Between Global Terrestrial Ecosystem and the Atmosphere. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(4): 379-389.

#### 参考文献:

- [16] 郎惠卿. 中国湿地植被. 北京: 科学出版社, 1998.
- [17] 李文华, 周晓峰, 刘兴土. 东北森林湿地保育与可持续发展战略研究. 北京: 科学出版社, 2007
- [18] 顾韩, 牟长城, 张博文, 于丽丽. 火干扰对小兴安岭草丛、灌丛沼泽温室气体短期排放的影响. *生态学报*, 2012, 32(19): 6044-6055
- [19] 顾韩, 牟长城, 张博文. 火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素. *生态学报*, 2012, 32(24): 7808-7817.
- [20] 牟长城, 张博文, 韩丽冬, 于丽丽, 顾韩. 火干扰对小兴安岭白桦沼泽温室气体排放的短期影响. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 857-865.
- [21] 于丽丽, 牟长城, 顾韩, 张博文. 火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响. *生态学报*, 2011, 31(18): 5180-5191.
- [22] 孙晓新, 牟长城, 宋长春, 吴云霞. 采伐对小兴安岭森林沼泽甲烷通量的影响. *土壤通报*, 2011, 42(1): 190-194.
- [24] 牟长城, 呈伟, 孙晓新, 吴云霞. 小兴安岭落叶松沼泽林土壤 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的排放规律. *林业科学*, 2010, 46(7): 7-15
- [25] 牟长城, 刘霞, 孙晓新, 石兰英, 冯登军, 呈伟, 吴云霞. 小兴安岭阔叶林沼泽土壤 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放规律及其影响因子. *生态学报*, 2010, 30(17): 4598-4608
- [26] 牟长城, 吴云霞, 李婉姝, 徐蕊. 采伐对小兴安岭落叶松-泥炭藓沼泽温室气体排放的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(2): 287-293
- [27] 石兰英, 牟长城, 田新民. 小兴安岭不同沼泽甲烷排放及其影响因子. *生态学报*, 2010, 30(19): 5289-5295
- [28] 牟长城, 石兰英, 孙晓新. 小兴安岭典型草丛沼泽湿地 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的排放动态及其影响因素. *植物生态学报*, 2009, 33(3): 617-623
- [29] 孙晓新, 牟长城, 石兰英, 呈伟, 刘霞, 吴云霞, 冯登军. 小兴安岭森林沼泽甲烷排放及其影响因子. *植物生态学报*. 2009, 33(3): 535-545
- [30] 孙晓新, 牟长城, 冯登军, 刘霞, 呈伟, 石兰英. 排水造林对小兴安岭沼泽甲烷排放的影响. *生态学报*, 2009, 29(8): 4251-4259
- [31] 刘霞, 牟长城, 李婉姝, 冯登军, 于波. 小兴安岭毛赤杨沼泽 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放规律及其对人为干扰的响应. *环境科学学报*, 2009, 29(12): 2642-2650
- [32] 李婉姝, 牟长城, 吴云霞, 徐蕊. 小兴安岭地区天然沼泽林生产力与植被碳密度. *东北林业大学学报*, 2010, 38(8): 39-44
- [33] 周文昌, 牟长城, 刘霞, 顾韩. 火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响. *生态学报*, 2012, 32(20): 6387-6395.
- [34] 周文昌, 牟长城, 刘霞, 顾韩. 小兴安岭天然森林沼泽生态系统碳汇功能. *东北林业大学学报*, 2012, 40(7): 71-75, 127.
- [39] 刘世荣, 王晖, 栾军伟. 中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展. *生态学报*, 2011, 31(19): 5437-5448
- [40] 张宪洲. 我国自然植被净第一性生产力的估算与分布. *自然资源*, 1993, 18(1): 15-21
- [41] 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究. *植物生态学报*, 1996, 20(1): 11-19
- [42] 毛德华, 王宗明, 罗玲, 韩信兴. 1982—2009 年东北多年冻土区植被净初级生产力动态及其对全球变化的响应. *应用生态学报*, 2012, 23(6): 1511-1519
- [45] 吴刚, 冯宗炜. 中国寒温带, 温带落叶松林群落生物量的研究概述. *东北林业大学学报*, 1995, 23(1): 95-101.
- [46] 何浩, 潘耀忠, 朱文泉, 刘旭珑, 张晴, 朱秀芳. 中国陆地生态系统服务价值测量. *应用生态学报*, 2005, 16(6): 1122-1127
- [47] 李银鹏, 季劲钧. 全球陆地生态系统与大气之间碳交换的模拟研究. *地理学报*, 2001, 56(4): 379-389

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 16 Aug. ,2013( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Advances in theoretical issues of species distribution models ..... LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguang, et al (4827)
- A review on rare earth elements in farmland ecosystem ..... JIN Shulan, HUANG Yizong (4836)
- A review on the mechanism of attachment and metamorphosis in barnacle cyprids ... RAO Xiaozhen, LIN Gang, XU Youqin (4846)
- Decision making in group living animals ..... WANG Chengliang, WANG Xiaowei, QI Xiaoguang, et al (4857)

**Autecology & Fundamentals**

- Influence of monsoon's advancing, retreating and conversion on migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China .....  
..... BAO Yunxuan, HUANG Jinying, XIE Xiaojin, et al (4864)
- Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves .....  
..... QI Zhanhui, WANG Jun, MAO Yuze, et al (4878)
- Habitat selection of Whooper Swan at Bayanbulak in Xinjiang of China ..... DONG Chao, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (4885)
- The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers .....  
..... LI Xiaohong, ZHANG Hui, WANG Deyuan, et al (4892)
- Genetic analysis of salt tolerance of F<sub>1</sub> progenies between chrysanthemum and the intergeneric hybrid of chrysanthemum and  
crossostephium ..... XU Lili, CHEN Fadi, CHEN Sumei, et al (4902)
- Indicative effect of the anatomical structure of plant photosynthetic organ on WUE in desert region .....  
..... ZHANG Haina, SU Peixi, LI Shanxia, et al (4909)
- Effects of water on photosynthesis in different age of tomato leaves ..... CHEN Kaili, LI Jianming, HE Huiqiang, et al (4919)
- Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi .....  
..... BAI Kundong, JIANG Debing, WAN Xianchong (4930)
- Effect of fertilization on the dynamic of soil N<sub>2</sub>O fluxes in Chinese chestnut stands .....  
..... ZHANG Jiaojiao, LI Yongfu, JIANG Peikun, et al (4939)
- Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil .....  
..... LIU Xiyu, WANG Zhongqiang, ZHANG Xinyu, et al (4949)

**Population, Community and Ecosystem**

- Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China ..... MU Changcheng, WANG Biao, LU Huicui, et al (4956)
- Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal  
Landsat TM images; a case study of the Yingxiu-Wenchuan section ..... XU Jiceng, TANG Bin, LU Tao (4966)
- A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire  
disturbance ..... NI Baolong, LIU Zhaogang (4975)
- Structure of macrozoobenthos in lakes along the Yangtze River and relationships with environmental characteristics .....  
..... CAI Yongjiu, JIANG Jiahu, ZHANG Lu, et al (4985)
- The research on the age structure and sex ratio of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake .....  
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (5000)
- Mathematical model of insect Logistic increasing and economic threshold based on sex pheromone trap .....  
..... ZHAO Zhiguo, RONG Erhua, ZHAO Zhihong, et al (5008)
- Community composition and phototaxis of insects in tea plantations in Southern Jiangshu Province during late fall .....  
..... ZHENG Yingcha, NIU Yuqun, CUI Guiling, et al (5017)
- Effect of agricultural land use types on soil mite communities in north China .....  
..... HAN Xuemei, LI Dandan, LIANG Zian, et al (5026)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Exploring the space syntax under negative planning; a case study of landscape connectivity based on the behaviors of avian edge  
species ..... YANG Tianxiang, ZHANG Weiqian, FAN Zhengqiu, et al (5035)
- Temporal-spatial variation of heterotrophic respiration in alpine area of southwestern China .....  
..... ZHANG Yuandong, PANG Rui, GU Fengxue, et al (5047)

- Variability of soil organic matter and its main factors in Jiangsu Province ..... ZHAO Mingsong, ZHANG Ganlin, LI Decheng, et al (5058)
- Spatial distribution and change of vegetation carbon in Northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data ..... ZHANG Mingyang, LUO Weijian, LIU Huiyu, et al (5067)
- Resource and Industrial Ecology**
- Urban metabolism process based on emergy synthesis; a case study of Beijing ..... LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (5078)
- Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis ..... ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao (5090)
- The effect of super absorbent polymer on the growth and nutrition absorption of *Festuca arundinacea* L. on an improved gangue matrix ..... ZHAO Zhifeng, WANG Dongmei, ZHAO Tingning (5101)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The effect of distance on the ecological conservation value; a case study of Sanjiang Plain Wetland ..... AO Changlin, CHEN Jinting, JIAO Yang, et al (5109)
- Research Notes**
- Scaling effect on spatial variation of soil organic carbon in mountainous areas of Guangdong Province ..... JIANG Chun, WU Zhifeng, QIAN Lexiang, et al (5118)
- The changes of hair length and pelage thermal insulation in captive female squirrel, *Sciurus vulgarize manchuricus*, during autumn molting period ..... JING Pu, ZHANG Wei, HUA Yan, et al (5126)

# 《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 王克林 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16期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 16 (August, 2013)

<b>编辑</b>	《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	<b>Edited by</b>	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
<b>主编</b>	王如松	<b>Editor-in-chief</b>	WANG Rusong
<b>主管</b>	中国科学技术协会	<b>Supervised by</b>	China Association for Science and Technology
<b>主办</b>	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	<b>Sponsored by</b>	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
<b>出版</b>	科学出版社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	<b>Published by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
<b>印刷</b>	北京北林印刷厂	<b>Printed by</b>	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
<b>发行</b>	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@espg.net	<b>Distributed by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
<b>订购</b>	全国各地邮局	<b>Domestic</b>	All Local Post Offices in China
<b>国外发行</b>	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044	<b>Foreign</b>	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
<b>广告经营</b>	京海工商广字第8013号		

