

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

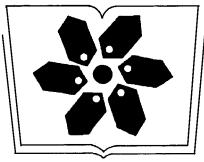
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第21期 Vol.32 No.21 **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



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 21 期

2012 年 11 月 (半月刊)

## 目次

白洋淀富营养化湖泊湿地厌氧氨氧化菌的分布及对氮循环的影响.....	王衫允,祝贵兵,曲冬梅,等 (6591)
造纸废水灌溉对滨海退化盐碱湿地土壤酶活性的响应.....	夏孟婧,苗颖,陆兆华,等 (6599)
图们江下游湿地生态系统健康评价.....	朱卫红,郭艳丽,孙鹏,等 (6609)
适应白洋淀湿地健康评价的 IBI 方法.....	陈展,林波,尚鹤,等 (6619)
基于 MODIS 的洞庭湖湿地面积对水文的响应.....	梁婕,蔡青,郭生练,等 (6628)
崇明东滩湿地不同潮汐带入侵植物互花米草根际细菌的多样性.....	章振亚,丁陈利,肖明 (6636)
中国东部亚热带地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 方位变化的谐波分析.....	赵兴云,李宝惠,王建,等 (6647)
甘肃臭草型退化草地优势种群空间格局及其关联性.....	高福元,赵成章 (6661)
川西亚高山/高山森林土壤氧化还原酶活性及其对季节性冻融的响应.....	谭波,吴福忠,杨万勤,等 (6670)
模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响.....	邓华卫,布仁仓,刘晓梅,等 (6679)
苹果三维树冠的净光合速率分布模拟.....	高照全,赵晨霞,张显川,等 (6688)
拟茎点霉 B3 与有机肥配施对连作草莓生长的影响.....	郝玉敏,戴传超,戴志东,等 (6695)
落叶松林土壤可溶性碳、氮和官能团特征的时空变化及与土壤理化性质的关系.....	苏冬雪,王文杰,邱岭,等 (6705)
人工固沙区与流沙区准噶尔无叶豆种群数量特征与空间格局对比研究.....	张永宽,陶冶,刘会良,等 (6715)
山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例.....	王强,袁兴中,刘红 (6726)
荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系.....	吴忠鑫,张磊,张秀梅,等 (6737)
北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化.....	杨青,王真良,樊景凤,等 (6747)
鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建.....	蒙古军,朱利凯,杨倩,等 (6755)
村落文化林与非文化林多尺度物种多样性加性分配.....	高虹,陈圣宾,欧阳志云 (6767)
不同生计方式农户的环境感知——以甘南高原为例.....	赵雪雁 (6776)
两种预测模型在地下水动态中的比较与应用.....	张霞,李占斌,张振文,等 (6788)
四川黄龙沟少花鹤顶兰繁殖成功特征.....	黄宝强,寇勇,安德军 (6795)
硝化抑制剂对蔬菜土硝化和反硝化细菌的影响.....	杨扬,孟德龙,秦红灵,等 (6803)
新疆两典型微咸水湖水体免培养古菌多样性.....	邓丽娟,娄恺,曾军,等 (6811)
白洋淀异养鞭毛虫群落特征及其与环境因子的相关性.....	赵玉娟,李凤超,张强,等 (6819)
双酚 A 对萼花臂尾轮虫毒性及生活史的影响.....	陆正和,赵宝坤,杨家新 (6828)
孵化温度对双斑锦蛇初生幼体行为和呼吸代谢的影响.....	曹梦洁,祝思,蔡若茹,等 (6836)
黄玛草蛉捕食米蛾卵的功能反应与数值反应.....	李水泉,黄寿山,韩诗畴,等 (6842)
互惠-寄生耦合系统的稳定性.....	高磊,杨燕,贺军州,等 (6848)
超微七味白术散对肠道微生物及酶活性的影响.....	谭周进,吴海,刘富林,等 (6856)
<b>专论与综述</b>	
氮沉降对森林生态系统碳吸存的影响.....	陈浩,莫江明,张炜,等 (6864)
全球 $\text{CO}_2$ 水平升高对浮游植物生理和生态影响的研究进展.....	赵旭辉,孔繁翔,谢薇薇,等 (6880)
跨界自然保护区——实现生物多样性保护的新手段.....	石龙宇,李杜,陈蕾,等 (6892)
<b>研究简报</b>	
会同和朱亭 11 年生杉木林能量积累与分配.....	康文星,熊振湘,何介南,等 (6901)
退化草地阿尔泰针茅生殖株丛与非生殖株丛的空间格局.....	任珩,赵成章,高福元,等 (6909)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 326 \* zh \* P \* ¥70.00 \* 1510 \* 35 \* 2012-11



**封面图说:** 白洋淀是华北地区最大的淡水湖泊湿地。淀区内沟壕纵横交织错落,村庄、苇地、园田星罗棋布,在水文、水化学、生物地球化学循环以及生物多样性等方面,具有非常复杂的异质性。随着上游城镇污废水、农田径流进入水域,淀区富营养化日益加剧。复杂的水环境特点、高度的景观异质性和良好的生物多样性,使得该地区成为探索规模性厌氧氨氧化反应的良好研究地点(详见本期第 6591—6598 页)。

**彩图提供:** 王为东博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: wdwangh@yahoo.com

DOI:10.5846/stxb201109271420

邓华卫, 布仁仓, 刘晓梅, 贺伟, 胡远满, 黄乃伟. 模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响. 生态学报, 2012, 32(21): 6679-6687.

Deng H W, Bu R C, Liu X M, He W, Hu Y M, Huang N W. Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6679-6687.

## 模拟分类经营对小兴安岭林区森林生物量的影响

邓华卫<sup>1,2</sup>, 布仁仓<sup>1,\*</sup>, 刘晓梅<sup>1</sup>, 贺伟<sup>1,2</sup>, 胡远满<sup>1</sup>, 黄乃伟<sup>3</sup>

(1. 森林与土壤生态国家重点实验室, 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110164;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 吉林省长白山保护开发区林业局 133613)

**摘要:**运用空间直观景观模型 LANDIS 7.0 PRO,模拟了在当前采伐模式和无采伐两个预案下,小兴安岭林区森林生物量及主要树种生物量在 2000—2200 年间的动态。模拟结果如下:(1)无采伐预案下,森林生物量由最初的 93.6 t/hm<sup>2</sup> 逐渐升高,90a 后达到最大值 258 t/hm<sup>2</sup>,之后森林生物量在 245 t/hm<sup>2</sup> 上下小幅波动;(2)前 100a 采伐预案会明显降低森林生物量,与无采伐预案相比森林生物量最大可降低 21.4 t/hm<sup>2</sup>,平均减少 14.7 t/hm<sup>2</sup>;后 100a 采伐对森林生物量的影响逐渐减弱,森林生物量平均减少 2.6 t/hm<sup>2</sup>;(3)当前采伐模式促进保护树种红松和紫椴生长,其生物量分别最大可提高 9.0 t/hm<sup>2</sup> 和 0.53 t/hm<sup>2</sup>,占到无采伐预案生物量的 56% 和 15%;(4)采伐预案对云冷杉生物量影响较小,主要降低先锋树种(白桦、山杨)和一些阔叶树种(枫桦、春榆)的生物量。研究结果表明现行采伐模式在未来 100 a 内会显著影响森林生物量,之后其影响逐渐减小,并且保护政策能提高所保护树种(红松、紫椴)的生物量,但要保持较高的总生物量,仍需要降低目前的采伐强度。

**关键词:**生物量;LANDIS 7.0 PRO;森林采伐;小兴安岭

## Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains

DENG Huawei<sup>1,2</sup>, BU Rencang<sup>1,\*</sup>, LIU Xiaomei<sup>1</sup>, HE Wei<sup>1,2</sup>, HU Yuanman<sup>1</sup>, HUANG Naiwei<sup>3</sup>

1 State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China

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

3 Changbai Mountain Protection and Development Zone of Jilin Province, 133613, China

**Abstract:** Forest biomass is the largest carbon pool among terrestrial ecosystems, which plays an important role in mitigating global climate change through sequestering carbon dioxide and increasing forested area and biomass. However, the disturbances such as climate change, timber harvesting and fire would affect forest biomass, therefore recently, an increasing attention rises on research of a wide range of disturbances that alter forest biomass and species composition. The forested area of China undergone intensive over-logging until 1998, to recover the forest structure and biomass from the past over-logged state, the government implemented forestry classified management. To reveal the effects of the forest management strategy, especially the timber harvesting on the forest and species biomass, the forest and main tree species biomass were simulated by LANDIS 7.0 PRO in the Xiao Xing'an Mountains in northeastern China, which is one of the three largest forested areas in China and the ecotone between temperate and boreal forest. LANDIS 7.0 PRO is the latest version of LANDIS (a spatially explicit model of forest landscape disturbance, management, and succession), which could simulate the dynamics of forest biomass at landscape scale. The study area covers  $1.476 \times 10^5$  hm<sup>2</sup> of forested landscape,

**基金项目:**中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050201);国家林业公益性行业专项(200804001);国家自然科学基金项目(30870441)

**收稿日期:**2011-09-27; **修订日期:**2012-05-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Burc@iae.ac.cn



and its forest dynamic and biomass were simulated over 200 years with the current forest management and no-harvesting scenarios. The main results show that: (1) The forest biomass in the no-harvesting scenario would increase with the simulation years from 93.6 t/hm<sup>2</sup>, and reach a maximum 258 t/hm<sup>2</sup> approximately at next 90 year, and then fluctuate with an average 245 t/hm<sup>2</sup>, and the potential biomass for this region is about 258 t/hm<sup>2</sup>; (2) In next 100 years, with the comparison of no-harvesting scenario, the current harvesting scenario significantly decreases the forest biomass, and the maximum and mean forest biomass decline by 21.4 t/hm<sup>2</sup> and 14.7 t/hm<sup>2</sup>, respectively. But after the next 100 years, current harvesting does not significantly decrease the forest biomass, anyhow the forest biomass trend to decreasing by 2.6 t/hm<sup>2</sup> averagely; (3) The current harvesting scenario increases the percentages of Korean pine and Amur linden, their biomass increases by 9.0 t/hm<sup>2</sup> (56%) and 0.53 t/hm<sup>2</sup> (15%), respectively under the comparison of no-harvesting scenario; (4) The current harvesting scenario affects highly the biomass of deciduous trees including ribbed birch, Black elm, white birch and wild poplar than the coniferous species including the spruces and Kingan fir which are allowed to be logged; (5) The forestry classified management can maintain the original forest structure like species composition, and promote the protected tree species growth and biomass. In addition, our results would be a good evaluation of current forest management strategy and a valuable guide for establishing a new forest management strategy in future.

**Key Words:** biomass; LANDIS 7.0 PRO; timber harvesting; Xiao Xing' an Mountains

森林生态系统是陆地生态系统最重要的组成部分,其碳储量占全球陆地生态系统的 56%<sup>[1]</sup>,在维持大气 CO<sub>2</sub> 浓度和缓解全球气候变化方面具有重要作用。森林生物量本身就是一个巨大的碳库,同时也是衡量森林生态系统生产力高低的重要指标,是研究森林生态系统物质循环的基础。在过去的几十年,对森林生物量的研究主要集中在森林生物量估算及其时空格局分析上,如 Fang 等采用改进的生物量转换因子法估算了中国森林总生物量<sup>[2]</sup>;Houghton 等利用野外调查、遥感和模型多种方法,估算了巴西亚马逊森林的生物量,并分析了森林生物量的空间分布<sup>[3]</sup>。近几年,人们越来越重视森林生物量对自然和人为干扰响应机制的研究,如 Kauffmank 等研究了土地利用变化对森林生物量动态的影响<sup>[4]</sup>,但人们对森林采伐在森林生物量动态过程中的作用还不是十分清楚。

小兴安岭是我国重要的木材生产基地之一,长期过度采伐导致了森林质量低、中幼龄林比重大、次生林增多、珍贵树种濒临灭绝等一系列的环境问题<sup>[5]</sup>。为遏制生态环境持续恶化,我国于 1998 年实施天然林保护工程<sup>[6]</sup>,小兴安岭林区开始实行分类经营管理,并降低采伐强度。当前采伐模式是否有利于森林恢复,当前采伐模式对森林生物量及主要树种生物量的影响又是怎样的?为回答以上问题,本文采用最新的空间直观景观模型 LANDIS 7.0 PRO,模拟无采伐和当前采伐两个预案下 2000—2200 年间森林生物量动态,揭示分类经营对森林生物量的影响机制,探讨当前采伐模式可能存在的问题。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于我国小兴安岭的南坡北段,黑龙江省北部伊春市境内,地理位置大致为北纬 47°51'—48°3',东经 128°26'—129°37',包括丰林国家级自然保护区、五营林业局和丽林实验林场,总面积约 14.76 万 hm<sup>2</sup>。气候条件属于大陆性季风气候,四季分明,年平均温度 -1—1℃,最冷为 1 月份,平均温度为 -20—-25℃,最热为 7 月份,平均温度为 20—21℃;年降水量为 550—670 mm,春季干燥少雨,降雨主要集中在夏季。地带性植被类型为以红松为优势的针阔混交林,属于中国东北区长白植物区系小兴安岭亚区<sup>[7]</sup>,主要的针叶乔木树种有红松 (*Pinus koraiensis*)、红皮云杉 (*Picea koraiensis*)、鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis*)、冷杉 (*Abies nephrolepis*)、落叶松 (*Larix gmelinii*) 等,主要的阔叶乔木树种有白桦 (*Betula platyphylla*)、枫桦 (*Betula costata*)、黑桦 (*Betula davurica*)、山杨 (*Populus davidiana*)、紫椴 (*Tilia amurensis*)、春榆 (*Ulmus propinqua*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、黄檗 (*Phellodendron amurense*)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica*) 等。地带性土壤为暗棕壤,并且以

山地暗棕壤为主,山间谷底、山间盆地及河谷阶地等部位分布有面积较广的白浆土、草甸土、沼泽土和泥炭土,受气候和植被条件影响,该地区土壤母质风化作用较迅速,成土过程较强,土层较厚。

## 1.2 LANDIS 7.0 PRO 模型

LANDIS 模型最早是由威斯康星大学麦迪逊分校开发的,主要用于模拟森林景观干扰、演替和管理。模型将景观看作由相同大小象元组成的格网,在每个象元上记录每个树种的年龄信息,根据环境条件象元又被分为不同的立地类型或生态区,相同的立地类型具有相似的物种重建系数、火烧轮回期等属性<sup>[8]</sup>,象元上的树种的现状信息随着树种的种子传播、建群、演替、死亡及干扰,发生变化和更新。模型就是通过对个体的、小尺度的过程的简化表示,并综合森林演替、种子扩散、风倒、火、病虫害、可燃物及采伐等景观过程,实现了模拟各种自然和人为干扰下样地和景观尺度的森林动态。LANDIS 模型的详细介绍可以参考徐崇刚等<sup>[9]</sup>,关于 LANDIS 模型模拟森林采伐的介绍可以参考 Gustafson 等<sup>[10]</sup>。目前, LANDIS 模型已经广泛应用于森林生态学领域,如森林景观对气候变化的响应研究<sup>[11-12]</sup>,采伐对森林景观影响研究<sup>[13]</sup>,火干扰对景观格局影响研究<sup>[14-15]</sup>,昆虫和病虫害对景观格局影响研究<sup>[16]</sup>。

近年来,我国学者也利用 LANDIS 模型,在我国大、小兴安岭和长白山自然保护区进行过大量的研究工作,如胡远满等应用 LANDIS 研究采伐和无采伐预案下大兴安岭呼中林区森林景观的长期变化<sup>[17]</sup>,布仁仓等基于该模型研究气候变化条件下采伐和造林活动对小兴安岭林区树种分布的影响<sup>[18]</sup>,结果表明 LANDIS 模型完全适用于我国小兴安岭林区。

LANDIS 7.0 PRO 是 LANDIS 模型的最新版本,基于生态学理论设计了立地密度模块<sup>[19]</sup>,不再单纯的记录像元上树种/年龄组的存在与否,而是跟踪记录每个像元上每个树种/年龄组的株数,从而可以定量林分特征,实现对森林生物量和碳储量的时空动态的模拟。

LANDIS 7.0 PRO 需要的参数主要包括:树种的生物学特征(寿命、成熟年龄、耐阴性、耐火性、种子传播有效距离、最大传播距离、萌发率、最小萌发年龄等)、树种组成图、树木生长曲线、立地类型图、树种重建系数和干扰模块参数。

### 1.2.1 树种生物学特征和树种组成图

LANDIS 7.0 PRO 在原来的基础上又增加了无性繁殖的最大萌发年龄、树种的种子产量等参数。这些树种的生物学特征数据列于表 1,它们主要引自一些相关文献。由于本文研究区域的植物区系与这些参考文献中的相近,如地带性植被都是阔叶红松林,树种的生物学特征基本相同,笔者认为以这些数据作为本文模拟研究的参数基本合理。其中,无性繁殖的最小萌发年龄采用的是近熟林的年龄,种子产量采用公式<sup>[20]</sup>:

$$Q_0 = 3067Bm^{-0.58} \quad (1)$$

该式是一种比较普适的树种种子产量计算式<sup>[21]</sup>。式中, $Q_0$  表示种子产量, $B$  表示母树的胸径断面积( $m^2$ ), $m$  是每一粒种子的平均重量(g)。

树种组成图由黑龙江省森林调查规划设计院 2000 年制作的林相图转换得到的,像元大小为 90 m×90 m,每个像元包含树种、年龄和植株数等信息。转换方法采用基于小班的随机赋值法<sup>[22]</sup>,即根据各小班的树种组成百分比和年龄记录,获得各像元的树种和年龄信息,株数则根据各树种不同径级的株数分布规律获得<sup>[23]</sup>。

### 1.2.2 树木生长曲线

模型通过追踪每个年龄级的树木的胸径增加量来模拟树木生长。本研究根据研究区树种胸径的增长曲线来设置参数。本文数据主要来源于文献<sup>[23-24]</sup>和野外采样调查。在研究区每个树种选取五棵标准木,用生长锥钻取树芯,经实验室处理获取胸径宽的时间序列数据,利用 Origin 软件 Curve fitting 工具对数据进行拟合,获得树木生长曲线<sup>[25]</sup>。

### 1.2.3 立地类型图及树种重建系数

在地理信息系统 ArcGIS 9.3 中,将研究区的坡度图、坡向图、土地利用现状图和土壤类型图进行叠加生成立地类型图。模型假设同一个立地类型具有相同的环境条件<sup>[26]</sup>。同一个立地类型内,每个物种的重建系

表 1 研究区主要树种及其生物学特性<sup>[23,24]</sup>  
Table 1 Main species and their biological attributes in the study area

树种 Species	寿命 Longevity /a	成熟年龄 Maturity /a	耐阴性 Shade tolerance	耐火性 Fire tolerance	种子有效 传播距离 Effective Seed dispersal distance /m	种子最大 传播距离 Max seed dispersal distance /m	萌发力 Germination ability	最小萌发 年龄 Min age of germination /a	最大萌发 年龄 Max age of germination /a	最大胸径 Max DBH /cm	种子产量 Seed number
红松 <i>P. koraiensis</i>	320	80	4	3	200	600	0	0	0	130	4698
云杉 <i>P. jezoensis</i> and <i>P. koraiensis</i>	300	30	4	3	80	200	0	0	0	100	33431
冷杉 <i>A. nephrolepis</i>	300	30	4	3	80	200	0	0	0	60	1458
落叶松 <i>L. gmelinii</i>	300	20	3	4	80	200	0	0	0	100	23683
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	250	40	3	5	400	1000	0.9	50	110	110	7855
胡桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>	250	15	2	4	50	100	0.9	60	70	80	382
黄菠萝 <i>Phellodendron amurense</i>	250	15	3	4	60	300	0.8	60	100	90	14913
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	320	20	3	5	50	200	1	50	110	100	943
春榆 <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japojica</i>	250	10	3	3	200	1000	0.5	60	100	100	35100
色木槭 <i>Acer mono</i>	200	10	3	3	500	1000	0.5	50	110	60	1697
枫桦 <i>Betula costata</i>	250	15	3	3	500	4000	0.9	40	100	90	59309
黑桦 <i>Betula daurica</i>	150	15	3	5	500	4000	0.9	30	100	50	17580
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	300	15	3	2	80	250	0.8	30	110	80	6621
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	150	15	1	2	500	4000	0.8	50	60	60	38301
山杨 <i>Populus davidiana</i>	150	10	1	1	600	5000	0.9	10	50	60	65789

数相对一致。模型通过物种重建系数来反映树种在各个立地类型上定居的能力,其取值范围为0—1,值越大表明物种在该立地类型上越容易存活。Bu 等人对小兴安岭主要树种在不同立地类型上的重建系数进行过研究,本文的物种重建系数采用他们的研究成果<sup>[18]</sup>。

#### 1.2.4 模拟方案

我国于1998年实施天然林保护工程,根据分类经营的要求,小兴安岭林区被划分为禁伐区、限伐区和商品林区三类管理区,基于2000年小兴安岭林区的林相图,提取研究区内的采伐管理区分布图(图1)。根据2003年伊春市森林管理局森林面积变化统计数据,计算各管理区每年的采伐强度(以采伐面积与相应管理区的比值表示),禁伐区无采伐,限伐区年采伐3%,商品林区年采伐5%。具体的采伐参数设置如下:

(1)模拟步长为10a,模拟时间尺度为200a;

(2)限伐区的采伐强度为30%/10a,商品林区为50%/10a;

(3)采伐方式为择伐,限伐区主要采伐成、过熟林,商品林区主要采伐近、成、过熟林,红松、紫椴、黄菠萝、胡桃楸和水曲柳等国家保护树种不参与采伐;

#### 1.2.5 模型验证

本文利用丰林自然保护区1997年的157个样点(图2)的每木检尺数据,采用一元生物量方程<sup>[27]</sup>,计算每个样点的森林生物量。在ArcGIS中,提取样点位置上的模型输出的模拟生物量。基于R语言统计环境,对实测生物量和模拟生物量进行 $T$ 检验,结果显示 $T = -0.2524$ , $P$ 值 $= 0.801 > 0.05$ ,样点实测值与模型模拟值之间没有显著性差异。由此说明,模型模拟结果在景观或区域尺度上符合实际的森林生物量水平。

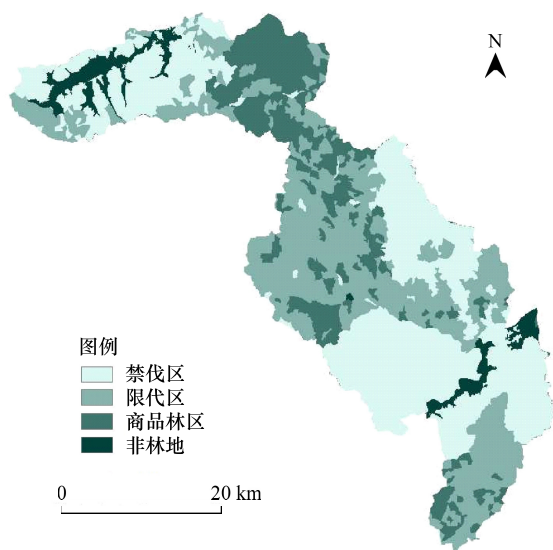


图1 研究区管理区分布图

Fig.1 Forest management area in the study area

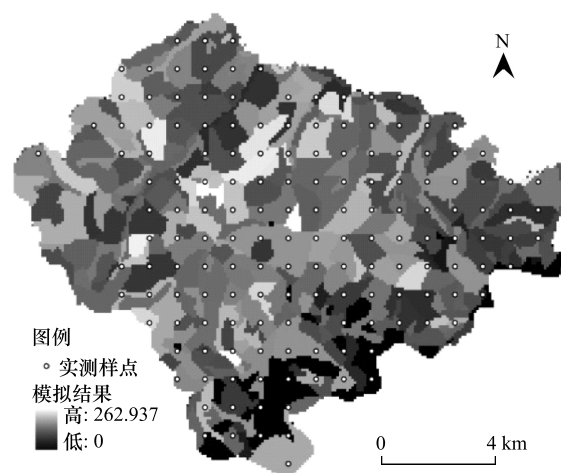


图2 实测样点和模拟结果分布图

Fig.2 Map of simulation results and samples

## 2 结果与分析

本文模拟了采伐和无采伐两个预案下森林生物量和主要树种生物量的动态变化,以下是相应的模拟结果和简要分析。

### 2.1 森林总生物量

无采伐预案下,随着森林自然演替,森林生物量逐渐升高,90a后从最初的 $93.6 \text{ t/hm}^2$ 达到最大值 $258 \text{ t/hm}^2$ ,之后,森林生物量总体上保持平稳,在 $245 \text{ t/hm}^2$ 上下小幅波动(图3)。现行的采伐方式在前100a显著地降低森林生物量,降幅最大可达到 $21.4 \text{ t/hm}^2$ ,平均减少 $14.7 \text{ t/hm}^2$ ;100a后,采伐对森林生物量的影响逐渐减弱,平均减少 $2.6 \text{ t/hm}^2$ (图3)。



## 2.2 针叶树种的生物量

在无采伐预案下,红松生物量缓慢升高,最大可达到  $16.3 \text{ t/hm}^2$ ;采伐预案下,红松生物量的增长速率明显高于无采伐预案(图4)。两种预案下,红松生物量的最大差值达到  $9.0 \text{ t/hm}^2$ ,平均差值为  $5.9 \text{ t/hm}^2$ 。落叶松生物量的变化规律与红松相似,采伐预案的生物量高于无采伐预案,平均高出  $1.6 \text{ t/hm}^2$ 。

从图4可以看出,云杉和冷杉生物量的变化趋势相对一致,前120a,采伐预案的生物量比无采伐预案的略高,云杉生物量最大高出  $4.0 \text{ t/hm}^2$ ,平均高出为  $2.6 \text{ t/hm}^2$ ,冷杉生物量最大高出  $1.4 \text{ t/hm}^2$ ,平均高出仅为  $0.85 \text{ t/hm}^2$ ;120a后采伐预案的生物量开始低于无采伐预案,云杉生物量最大可以降低  $3.1 \text{ t/hm}^2$ ,平均降低  $1.8 \text{ t/hm}^2$ ,冷杉生物量最大降低  $0.8 \text{ t/hm}^2$ ,平均降低仅为  $0.4 \text{ t/hm}^2$ 。

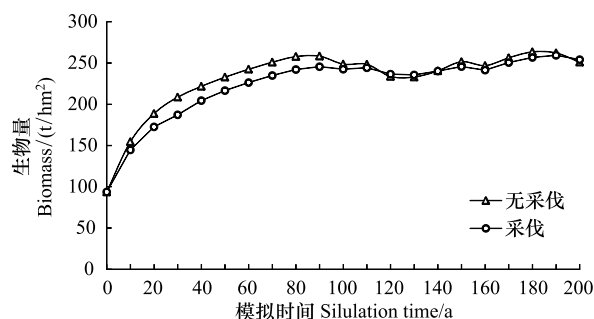


图3 森林生物量的动态变化

Fig.3 Dynamics of forest biomass

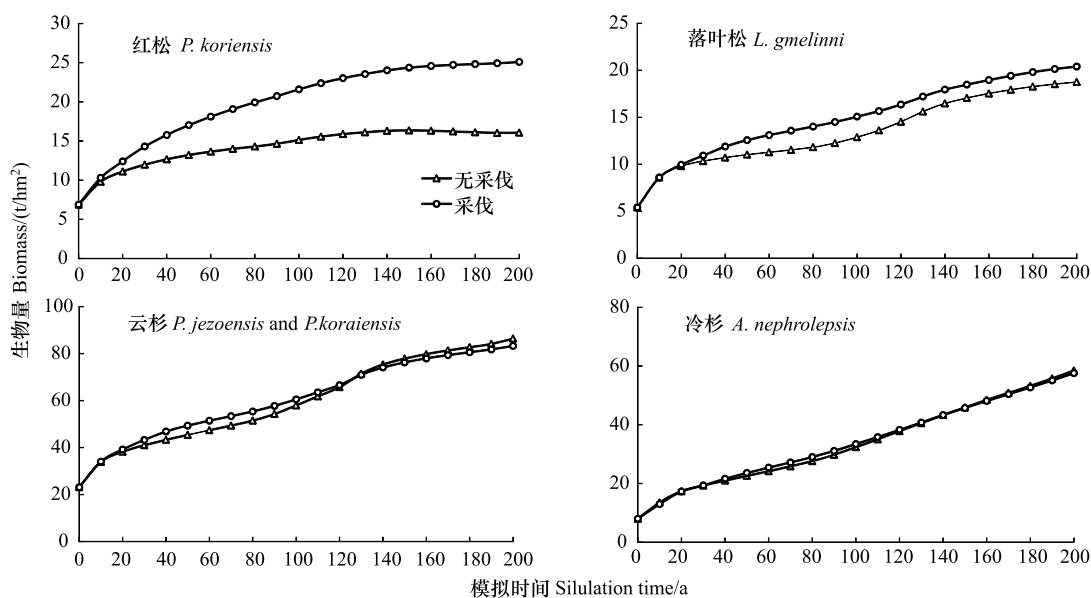


图4 针叶树种生物量的动态变化

Fig.4 Dynamics of coniferous tree biomass

## 2.3 阔叶树种的生物量

采伐显著降低枫桦生物量,整个模拟期间(200a),两个预案下的枫桦生物量平均相差为  $9.8 \text{ t/hm}^2$ ,最大差值出现在150a,约为  $13.6 \text{ t/hm}^2$ (图5)。前50a,两个预案下的椴树生物量相差不大,之后,采伐预案下的椴树生物量逐渐高于无采伐预案的,最大差值为  $0.53 \text{ t/hm}^2$ ,高出无采伐预案15%(图5)。

前140a,采伐预案下的春榆生物量平均比无采伐预案低  $0.18 \text{ t/hm}^2$ ,最大低  $0.26 \text{ t/hm}^2$ ;150a,春榆在采伐预案下的生物量开始略高于无采伐预案,平均高出  $0.06 \text{ t/hm}^2$ ;在170a,枫桦和春榆的生物量都出现了大幅下降的现象(图5)。前120a,采伐预案下的蒙古栎生物量高于无采伐预案的生物量,更新量和生长量超过了采伐量,采伐促进了蒙古栎生长;随后,采伐预案下的蒙古栎生物量开始逐渐低于无采伐预案,此时满足采伐条件的成、过熟林开始增多,其采伐量超过更新量和生长量(图5)。

## 2.4 先锋树种的生物量

从图6可以看出,先锋树种白桦和山杨的生物量变化规律基本相同,模拟前期采伐预案下的生物量明显低于无采伐预案的,后期差距才逐渐缩小。前110年,两个预案下的白桦生物量平均相差  $13.3 \text{ t/hm}^2$ ,最大相



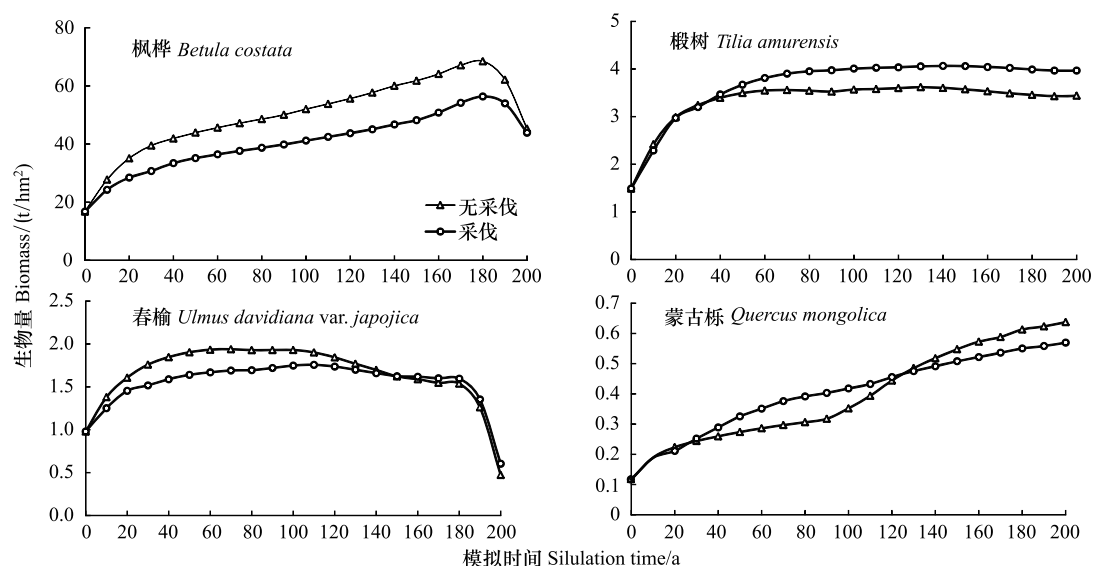


图5 主要阔叶树种生物量的动态变化

Fig.5 Dynamics of main broadleaf tree biomass

差  $18.2 t/hm^2$ ; 120a 到 140a 间, 采伐预案下的白桦生物量略高于无采伐预案, 平均高出  $3.7 t/hm^2$ ; 从 150a 开始, 采伐又开始降低白桦的生物量, 平均减少  $1.9 t/hm^2$ 。两个预案下的山杨生物量, 在前 110 年, 平均相差为  $0.76 t/hm^2$ , 最大差值为  $1.19 t/hm^2$ ; 120a 到 170a, 平均差值为  $0.52 t/hm^2$ ; 之后, 两者的差距越来越小, 平均差值仅为  $0.12 t/hm^2$ 。

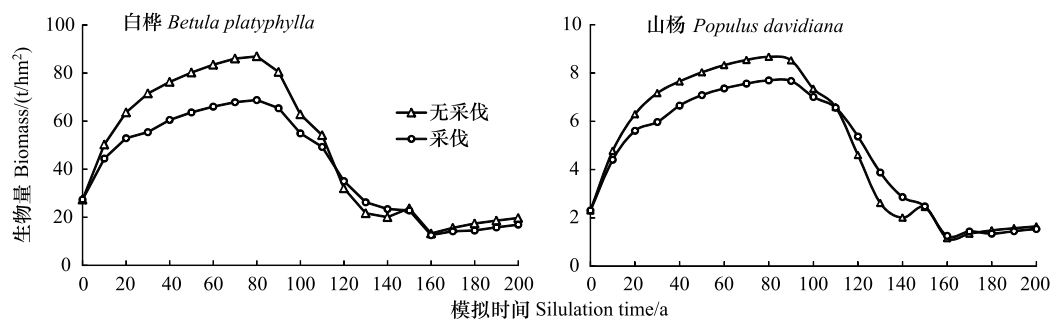


图6 先锋树种生物量的动态变化

Fig.6 Dynamics of frontier tree biomass

### 3 结论与讨论

模型验证一直是空间直观景观模型面临的一大挑战, 由于缺少长时间序列的实测数据, 传统的验证方法 (如偏差分析、回归分析、假设检验等) 也无法用于模拟结果的验证。模型验证一般采用的方法是基于调查资料和林学知识对模拟结果的合理性进行评价<sup>[28-29]</sup>。我国温带阔叶红松林群落生物量范围在  $199-371 t/hm^2$  之间<sup>[30]</sup>, 邓慧平等模拟的小兴安岭阔叶红松林的总生物量为  $220 t/hm^2$ <sup>[31]</sup>, 延晓冬等的模拟结果约为  $250 t/hm^2$ <sup>[28]</sup>, 本文森林生物量达到动态平衡时的模拟值约为  $245 t/hm^2$ , 模型模拟结果与调查结果相符。为了进一步验证模型结果的合理性, 本文利用丰林保护区的实测生物量与模拟生物量进行  $T$  检验, 结果两者不存在显著差异, 模型模拟生物量在景观尺度与实际相符。另外, LANDIS 模型已经过例行的模拟程序评价, 如灵敏性、不确定性分析和模型结构分析<sup>[8, 26]</sup>, 并且其有效性已在广泛的应用中得到体现。

在过去的几十年, 研究区的原始林大都被采伐过。目前, 森林正处于演替早期, 中、幼林所占比例较大, 此时森林生物量较低, 在无采伐干扰下, 随着森林自然演替, 森林生物量逐渐恢复, 大约 90a 后达到最大值, 之后

基本保持稳定。与无采伐预案相比,现行的采伐模式在前 100a 会显著地降低森林生物量,最大降幅可达到  $21.4 \text{ t/hm}^2$ ,平均降低  $14.7 \text{ t/hm}^2$ ;100a 后,采伐对森林生物量的影响逐渐减弱,平均降低  $2.6 \text{ t/hm}^2$ ,森林的生长量和更新量基本与采伐量相当,森林生物量处于动态平衡。总体上,现行采伐模式可以维持森林的演替状态,在森林生物量逐渐恢复的同时,为人类提供木材及木产品,但是为保持较高的生物量,仍需要降低目前的采伐强度。

单个树种的生物量在无采伐和现行采伐两种预案下呈现出多种变化趋势。针叶树种中的红松、落叶松和阔叶树种中的椴树在现行采伐预案下的生物量要比无采伐预案的高。红松和椴树属于国家保护树种,不参与采伐,采伐为它们创造了更大的生长空间,减弱周围树种与其对光照、养分的竞争,因而促进它们更新和生长;落叶松是速生树种,比其他树种更新速度快、更新周期短,采伐为其营造更适合的生存环境从而促进其生长。针叶树种云杉和冷杉生物量的变化趋势相对一致,总体上现行采伐模式对其生物量动态的影响不明显。阔叶树种枫桦和春榆生物量在两个预案下的变化趋势相似,采伐显著降低其生物量水平。蒙古栎生物量变化较为复杂,在两种预案下呈现交替增长的趋势。现行采伐模式可以促进研究区地带性植被优势树种红松生长,加快森林向顶级群落的演替速度。

研究区的次生林主要为杨桦林,大量的白桦和山杨正处于近、中龄,符合采伐条件的株树较多,模拟前期,采伐显著降低其生物量水平,为红松及其伴生树种提供了生长空间,从而促进森林演替;模拟后期,其生物量水平逐渐下降,最后保持一个较低的水平,此时采伐的影响相对变弱。模型模拟的白桦和山杨生物量的变化规律与前人研究结论一致<sup>[32]</sup>。

本研究表明,小兴安岭林区施行的分类经营管理可以促进地带性植被优势树种红松的更新和生长,加快森林向顶级群落演替的速度,但要保持较高的森林生物量水平,仍然需要降低采伐强度。

**致谢:**感谢丰林国家级自然保护区科研室宋国华主任、王全波副主任和李淑华高级工程师在野外调查过程中给予的帮助,感谢梁宇、李晓娜和吴志伟在野外调查和数据处理过程中给予的帮助。

## References:

- [1] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, Houghton R A, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263(5144):185-190.
- [2] Fang J Y, Wang G G, Liu G H, Xu S L. Forest biomass of China: an estimate based on the biomass-volume relationship. *Ecological Applications*, 1998, 8(4):1084-1091.
- [3] Houghton R A, Lawrence K T, Hackler J L, Brown S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, 2001, 7(7):731-746.
- [4] Kauffman J B, Hughes R F, Heider C. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications*, 2009, 19(5):1211-1222.
- [5] Bai W G, Wang Z X. On sustainable forest management in forest areas of Northeast China. *Forest Resources Management*, 2008, (6):1-7.
- [6] Chen P. Natural forest protection: an overview abroad and a review at home. *Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences*, 2004, 3(2):50-54.
- [7] Li J W. Korean Pine Mixed Forest Ecology and Management. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1997:1-298.
- [8] Mladenoff D J, He H S. Design, behavior and application of LANDIS, an object oriented model of forest landscape disturbance and succession // Mladenoff D J, Baker W L, eds. *Spatial Modeling of Forest Landscape Change: Approaches and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999:125-162.
- [9] Xu C G, Hu Y M, Chang Y, Li X Z, Bu R C, He H S. Spatially explicit Landscape Model-LANDIS I. Mechanism. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(5):837-844.
- [10] Gustafson E J, Shifley S R, Mladenoff D J, Nimerfro K K, He H S. Spatial simulation of forest succession and timber harvesting using LANDIS. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30(1):32-43.
- [11] Xu C G, Gertner G Z, Scheller R M. Importance of colonization and competition in forest landscape response to global climatic change. *Climatic Change*, 2011, 110(1/2):53-83.
- [12] Gustafson E J, Shvidenko A Z, Sturtevant B R, Scheller R M. Predicting global change effects on forest biomass and composition in south-central Siberia. *Ecological Applications*, 2010, 20(3):700-715.
- [13] Radeloff V C, Mladenoff D J, Gustafson E J, Scheller R M, Zollner P A, He H S, Akcakaya H R. Modeling forest harvesting effects on landscape

- pattern in the Northwest Wisconsin Pine Barrens. *Forest Ecology and Management*, 2006, 236(1):113-126.
- [14] Chang Y, He H S, Hu Y M, Bu R C, Li X Z. Historic and current fire regimes in the Great Xing'an Mountains, northeastern China; implications for long-term forest management. *Forest Ecology and Management*, 2008, 254(3):445-453.
- [15] Chang Y, He H S, Bishop I, Hu Y M, Bu R C, Xu C G, Li X Z. Long-term forest landscape responses to fire exclusion in the Great Xing'an Mountains, China. *International Journal of Wildland Fire*, 2007, 16(1):34-44.
- [16] Sturtevant B R, Gustafson E J, Li W, He H S. Modeling biological disturbances in LANDIS: a module description and demonstration using spruce budworm. *Ecological Modeling*, 2004, 180(1):153-174.
- [17] Hu Y M, Xu C G, Chang Y, Li X Z, Bu R C, He H S, Leng W F. Application of spatially explicit landscape model (LANDIS): a case researches in Huzhong area, Mt. Daxing'anling. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9):1846-1856.
- [18] Bu R C, He H S, Hu Y M, Chang Y, Larsen D. Using the LANDIS model to evaluate forest harvesting and planting strategies under possible warming climates in Northeastern China. *Forest Ecology and Management*, 2008, 254(3):407-419.
- [19] Kim H. Developing a Stand Density Module in LANDIS to Improve Simulation Realism of Stand Dynamics. Missouri: Graduate School at the University of Missouri, 2008:1-71.
- [20] Greene D F, Johnson E A. Estimating the mean annual seed production of trees. *Ecology*, 1994, 75(3):642-647.
- [21] Pennanen J, Greene D F, Fortin M J, Messier C. Spatially explicit simulation of long-term boreal forest landscape dynamics; incorporating quantitative stand attributes. *Ecological Modelling*, 2004, 180(1):195-209.
- [22] Xu C G, Hu Y M, Chang Y, Li X Z, Bu R C, He H S, Leng W F. The effect of cell-level uncertainty on spatially explicit landscape model simulation. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9):1938-1949.
- [23] Xu H C. Natural Forests of Pinus Koraiensis in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2000:1-242.
- [24] Wang Y Q. Korean Pine Forest. Harbin: Northeast Forestry University Publishing House, 1995:1-488.
- [25] Liu X M. Simulating the Long-Term Effect of Timber Harvesting on Forest Biomass. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2011:46-47.
- [26] He H S, Mladenoff D J. Spatially explicit and stochastic simulation of forest-landscape fire disturbance and succession. *Ecology*, 1999, 80(1):81-99.
- [27] Chen C G, Zhu J F. The Main Forest Biomass of Northeast Manual. Beijing: China Forestry Publishing House, 1989:1-14.
- [28] Yan X D, Zhao S D, Fu C B, Shugart H H, Yu Z L. How should the Xiao Hinggan Mt. Forests change with potential climate change; a simulation study. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(4):372-376.
- [29] Yan X D, Zhao S D, Zhen Z L. Modeling growth and succession of northeastern China forests and its applications in global change studies. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1):1-8.
- [30] Feng Z W. Biomass and Production of Forest Ecosystem in China. Beijing: Science Press, 1999:64-65.
- [31] Deng H P, Wu F Z, Zhou D W. Response of Broadleaved Pinus koraiensis Forests in Xiaoxing'anling Mt. to global climate change adynamic modeling. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(1):43-46.
- [32] Sang W G, Li J W. Dynamics modeling of Korean pine forest in southern Lesser Xing'an mountains of China. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1):38-47.

#### 参考文献:

- [5] 白卫国, 王祝雄. 论我国东北林区森林可持续经营. *林业资源管理*, 2008, (6):1-7.
- [6] 陈蓬. 国外天然林保护概况及我国天然林保护的进展与对策. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2004, 3(2):50-54.
- [7] 李景文. 红松混交林生态与经营. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1997:1-298.
- [9] 徐崇刚, 胡远满, 常禹, 李秀珍, 布仁仓, 贺红士. 空间直观景观模型 LANDIS I. 运行机制. *应用生态学报*, 2004, 15(5):837-844.
- [17] 胡远满, 徐崇刚, 常禹, 李秀珍, 布仁仓, 贺红士, 冷文芳. 空间直观景观模型 LANDIS 在大兴安岭呼中林区的应用. *生态学报*, 2004, 24(9):1846-1856.
- [22] 徐崇刚, 胡远满, 常禹, 李秀珍, 布仁仓, 贺红士, 冷文芳. 像元尺度上不确定性对空间景观直观模型模拟的影响. *生态学报*, 2004, 24(9):1938-1949.
- [23] 徐化成. 中国红松天然林. 北京: 中国林业出版社, 2000:1-242.
- [24] 王业蓬. 阔叶红松林. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1995:1-488.
- [25] 刘晓梅. 采伐对森林生物量长期影响的模拟. 北京: 中国科学院研究生院, 2011:46-47.
- [27] 陈传国, 朱俊凤. 东北主要林木生物量手册. 北京: 中国林业出版社, 1989:1-14.
- [28] 延晓冬, 赵士洞, 符淙斌, Shugart H H, 于振良. 气候变化背景下小兴安岭天然林的模拟研究. *自然资源学报*, 1999, 14(4):372-376.
- [29] 延晓冬, 赵士洞, 于振良. 中国东北森林生长演替模拟模型及其在全球变化研究中的应用. *植物生态学报*, 2000, 24(1):1-8.
- [30] 冯宗炜. 中国森林生态系统生物量和生产力. 北京: 科学出版社, 1993:64-65.
- [31] 邓慧平, 吴正方, 周道玮. 全球气候变化对小兴安岭阔叶红松林影响的动态模拟研究. *应用生态学报*, 2000, 11(1):43-46.
- [32] 桑卫国, 李景文. 小兴安岭南坡红松林动态模拟. *生态学报*, 1998, 18(1):38-47.

CONTENTS

Widespread of anaerobic ammonia oxidation bacteria in an eutrophic freshwater lake wetland and its impact on nitrogen cycle .....	WANG Shanyun, ZHU Guibing, QU Dongmei, et al (6591)
Responses of soil enzyme activities of degraded coastal saline wetlands to irrigation with treated paper mill effluent .....	XIA Mengjing, MIAO Ying, LU Zhaozhua, et al (6599)
Wetland ecosystem health assessment of the Tumen River downstream .....	ZHU Weihong, GUO Yanli, SUN Peng, et al (6609)
An index of biological integrity: developing the methodology for assessing the health of the Baiyangdian wetland .....	CHEN Zhan, LIN Bo, SHANG He, et al (6619)
MODIS-based analysis of wetland area responses to hydrological processes in the Dongting Lake .....	LIANG Jie, CAI Qing, GUO Shenglian, et al (6628)
The diversity of invasive plant <i>Spartina Alterniflora</i> rhizosphere bacteria in a tidal salt marshes at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary .....	ZHANG Zhengya, DING Chengli, XIAO Ming (6636)
Analyzing the azimuth distribution of tree ring $\delta^{13}\text{C}$ in subtropical regions of eastern China using the harmonic analysis .....	ZHAO Xingyun, LI Baohui, WANG Jian, et al (6647)
In the process of grassland degradation the spatial pattern and spatial association of dominant species .....	GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang (6661)
Activities of soil oxidoreductase and their response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan .....	TAN Bo, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (6670)
Simulating the effects of forestry classified management on forest biomass in Xiao Xing'an Mountains .....	DENG Huawei, BU Rencang, LIU Xiaomei, et al (6679)
The simulation of three-dimensional canopy net photosynthetic rate of apple tree .....	GAO Zhaoquan, ZHAO Chenxia, ZHANG Xianchuan, et al (6688)
The effect of <i>Phomopsis</i> B3 and organic fertilizer used together during continuous cropping of strawberry ( <i>Fragaria ananassa</i> Duch) .....	HAO Yumin, DAI Chuanchao, DAI Zhidong, et al (6695)
Temporal and spatial variations of DOC, DON and their function group characteristics in larch plantations and possible relations with other physical-chemical properties .....	SU Dongxue, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (6705)
Comparisons of quantitative characteristics and spatial distribution patterns of <i>Eremosparton songoricum</i> populations in an artificial sand fixed area and a natural bare sand area in the Gurbantunggut Desert, Northwestern China .....	ZHANG Yongkuan, TAO Ye, LIU Huiliang, et al (6715)
Comparison study on macroinvertebrate assemblage of riffles and pools: a case study of Dong River in Kaixian County of Chongqing, China .....	WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong (6726)
Nekton community structure and its relationship with main environmental variables in Lidao artificial reef zones of Rongcheng .....	WU Zhongxin, ZHANG Lei, ZHANG Xiumei, et al (6737)
Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009 .....	YANG Qing, WANG Zhenliang, FAN Jingfeng, et al (6747)
Building ecological security pattern based on land use: a case study of Ordos, Northern China .....	MENG Jijun, ZHU Likai, YANG Qianet al (6755)
Additive partition of species diversity across multiple spatial scales in community culturally protected forests and non-culturally protected forests .....	GAO Hong, CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun (6767)
Environmental perception of farmers of different livelihood strategies: a case of Gannan Plateau .....	ZHAO Xueyan (6776)
Application and comparison of two prediction models for groundwater dynamics .....	ZHANG Xia, LI Zhanbin, ZHANG Zhenwen, et al (6788)
Pollination success of <i>Phaius delavayi</i> in Huanglong Valley, Sichuan .....	HUANG Baoqiang, KOU Yong, AN Dejun (6795)
Mechanism of nitrification inhibitor on nitrogen-transformation bacteria in vegetable soil .....	YANG Yang, MENG Denglong, QIN Hongling, et al (6803)
Archaea diversity in water of two typical brackish lakes in Xinjiang .....	DENG Lijuan, LOU Kai, ZENG Jun, et al (6811)
Abundance and biomass of heterotrophic flagellates in Baiyangdian Lake, as well as their relationship with environmental factors .....	ZHAO Yujuan, LI Fengchao, ZHANG Qiang, et al (6819)
Effects of bisphenol A on the toxicity and life history of the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i> .....	LU Zhenghe, ZHAO Baokun, YANG Jiaxin (6828)
Effect of incubation temperature on behavior and metabolism in the Chinese cornsnake, <i>Elaphe bimaculata</i> .....	CAO Mengjie, ZHU Si, CAI Ruoru, et al (6836)
Functional and numerical responses of <i>Mallada besalis</i> feeding on <i>Coreyra cephalonica</i> eggs .....	LI Shuiquan, HUANG Shoushan, HAN Shichou, et al (6842)
Stability analysis of mutualistic-parasitic coupled system .....	GAO Lei, YANG Yan, HE Junzhou, et al (6848)
Effect of ultra-micro powder qiweibaishuan on the intestinal microbiota and enzyme activities in mice .....	TAN Zhoujin, WU Hai, LIU Fulin, et al (6856)
<b>Review and Monograph</b>	
The effects of nitrogen deposition on forest carbon sequestration: a review .....	CHEN Hao, MO Jiangming, ZHANG Wei, et al (6864)
Effect of enhanced CO <sub>2</sub> level on the physiology and ecology of phytoplankton .....	ZHAO Xuhui, KONG Fanxiang, XIE Weiwei, et al (6880)
Transboundary protected areas as a means to biodiversity conservation .....	SHI Longyu, LI Du, CHEN Lei, et al (6892)
<b>Scientific Note</b>	
The energy storage and its distribution in 11-year-old chinese fir plantations in Huitong and Zhuting .....	KANG Wenxing, XIONG Zhengxiang, HE Jienan, et al (6901)
Spatial pattern of sexual plants and vegetative plants of <i>Stipa krylovii</i> population in alpine degraded grassland .....	REN Heng, ZHAO Chengzhang, GAO Fuyuan, et al (6909)



# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,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

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 21 期 (2012 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 21 (November, 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:1000717	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