

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 19 期 Vol.32 No.19 **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 19 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目次

中国野生东北虎数量监测方法有效性评估	张常智, 张明海, 姜广顺 (5943)
城市居民食物氮消费变化及其环境负荷——以厦门市为例	于洋, 崔胜辉, 赵胜男, 等 (5953)
珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构	袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 等 (5962)
2010 年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系	龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等 (5972)
阿根廷滑柔鱼两个群体间耳石和角质颚的形态差异	方舟, 陈新军, 陆化杰, 等 (5986)
黄河三角洲滨海草甸与土壤因子的关系	谭向峰, 杜宁, 葛秀丽, 等 (5998)
盘锦湿地净初级生产力时空分布特征	王莉雯, 卫亚星 (6006)
菜豆根瘤菌对土壤钾的活化作用	张亮, 黄建国, 韩玉竹, 等 (6016)
花生植株和土壤水浸液自毒作用研究及土壤中自毒物质检测	黄玉茜, 韩立思, 杨劲峰, 等 (6023)
遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响	吕晋慧, 王玄, 冯雁梦, 等 (6033)
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	顾韩, 牟长城, 张博文, 等 (6044)
古尔班通古特沙漠南部植物多样性及群落分类	张荣, 刘彤 (6056)
黄土高原樟子松和落叶松与其他树种枯落叶混合分解对土壤的影响	李茜, 刘增文, 米彩红 (6067)
长期集约种植对雷竹林土壤氨氧化古菌群落的影响	秦华, 刘卜榕, 徐秋芳, 等 (6076)
H ₂ O ₂ 参与 AM 真菌与烟草共生过程	刘洪庆, 车永梅, 赵方贵, 等 (6085)
北京山区防护林优势树种分布与环境的关系	邵方丽, 余新晓, 郑江坤, 等 (6092)
旱直播条件下强弱化感潜力水稻根际微生物的群落结构	熊君, 林辉锋, 李振方, 等 (6100)
不同森林类型根系分布与土壤性质的关系	黄林, 王峰, 周立江, 等 (6110)
臭氧胁迫下硅对大豆抗氧化系统、生物量及产量的影响	战丽杰, 郭立月, 宁堂原, 等 (6120)
垃圾填埋场渗滤液灌溉对土壤理化特征和草本花卉生长的影响	王树芹, 赖娟, 赵秀兰 (6128)
稻麦轮作系统冬小麦农田耕作措施对氧化亚氮排放的影响	郑建初, 张岳芳, 陈留根, 等 (6138)
不同施氮措施对旱作玉米地土壤酶活性及 CO ₂ 排放量的影响	张俊丽, 高明博, 温晚霞, 等 (6147)
北方农牧交错区农业生态系统生产力对气候波动的响应——以准格尔旗为例	孙特生, 李波, 张新时 (6155)
辽宁省能源消费和碳排放与经济增长的关系	康文星, 姚利辉, 何介南, 等 (6168)
基于 FARSITE 模型的丰林自然保护区潜在林火行为空间分布特征	吴志伟, 贺红士, 梁宇, 等 (6176)
不同后作生境对玉米地天敌的冬季保育作用	田耀加, 梁广文, 曾玲, 等 (6187)
云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响	卢志兴, 陈又清, 李巧, 等 (6195)
阿波罗绢蝶种群数量和垂直分布变化及其对气候变暖的响应	于非, 王吟, 王绍坤, 等 (6203)
专论与综述	
海水养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式	蒲新明, 傅明珠, 王宗灵, 等 (6210)
海草场生态系统及其修复研究进展	潘金华, 江鑫, 赛珊, 等 (6223)
水华蓝藻对鱼类的营养毒理学效应	董桂芳, 解绶启, 朱晓鸣, 等 (6233)
环境胁迫对海草非结构性碳水化合物储存和转移的影响	江志坚, 黄小平, 张景平 (6242)
生态免疫学研究进展	徐德立, 王德华 (6251)
研究简报	
喀斯特峰丛洼地不同森林表层土壤有机质的空间变异及成因	宋敏, 彭晚霞, 邹冬生, 等 (6259)
准噶尔盆地东南缘梭梭种子雨特征	吕朝燕, 张希明, 刘国军, 等 (6270)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10



封面图说: 岸边的小白鹭——鹭科白鹭属共有 13 种, 其中有大白鹭、中白鹭、白鹭 (小白鹭)、黄嘴白鹭等, 体羽皆是全白, 世通称白鹭。夏季的白鹭成鸟繁殖时枕部着生两条狭长而软的矛状羽, 状若双辫, 肩和胸着生蓑羽, 冬季时蓑羽常全部脱落, 白鹭虹膜黄色, 嘴黑色, 脚部黑色, 趾呈黄绿色。小白鹭常常栖息于稻田、沼泽、池塘水边, 以及海岸浅滩的红树林里。白天觅食, 好食小鱼、蛙、虾及昆虫等。繁殖期 3—7 月。繁殖时成群, 常和其他鹭类在一起, 雌雄均参加营巢, 次年常到旧巢处重新修葺使用。

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

DOI: 10.5846/stxb201108291258

王莉雯, 卫亚星. 盘锦湿地净初级生产力时空分布特征. 生态学报, 2012, 32(19): 6006-6015.

Wang L W, Wei Y X. Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(19): 6006-6015.

盘锦湿地净初级生产力时空分布特征

王莉雯^{1,2,3,*}, 卫亚星^{1,2,3}

(1. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029;

2. 辽宁师范大学自然地理与空间信息科学辽宁省重点实验室, 大连 116029; 3. 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029)

摘要: 主要采用中巴地球资源卫星 (CBERS)、合成孔径雷达 (SAR) 和数字高程模型 (DEM) 数据, 通过主成分变换融合算法、分类回归树 CART 算法和混合像元分解模型结合神经网络算法, 进行了盘锦湿地土地覆盖类型分类。充分考虑湿地生态系统的典型特征, 将盐分胁迫因子作为估算湿地耐盐植被净初级生产力 (NPP) 的环境影响因子之一, 构建了基于光能利用率和遥感数据的湿地植被净初级生产力模型。分析了盘锦湿地植被 NPP 的时空分布特征, 并研究了盘锦湿地植被 NPP 对气温和降水的响应特征。结果表明: 2009 年盘锦市植被净初级生产力介于 $0\text{--}1175\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间, 平均值为 $553\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。盘锦市植被 NPP 空间分布规律呈东北向西南逐渐递增的趋势。在湿地植被分类类型中, 芦苇的单位面积平均 NPP 最高, 达到 $1016\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。2004—2009 年盘锦植被单位面积平均 NPP 值在缓慢上升, 湿地已呈现缓慢恢复的趋势。总体上气温对盘锦湿地主要植被类型芦苇月平均 NPP 的影响要强于降水。2004—2009 年降水对盘锦地区植被年平均 NPP 的影响强于气温。

关键词: 湿地; 净初级生产力; 遥感; 盘锦

Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region

WANG Liwen^{1,2,3,*}, WEI Yaxing^{1,2,3}

1 Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 Liaoning Key Laboratory of Physical Geography and Geomatics, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

3 College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

Abstract: In this paper, in order to improve wetland classification precision, firstly extracted wetland type, then classified other land cover type, by these two steps fulfilled land cover type classification in study area. Using hydrological and topographic parameter data, SAR data, and CBERS data to fusion by adopting principal component transform algorithm, and adopting classification regression tree CART algorithm to construct decision tree, extracted the wetland type in study area. Adopting mixed pixel decomposed model combined with neural network method, classified other land cover types in study area. After adequately considering wetland ecosystem representative feature, in our paper, constructed wetland vegetation net primary productivity model based on light use efficiency and remote sensing data. Genetic algorithm was adopted to confirm max value of maximum light use efficiency model. Linear method was adopted to calculate FPAR value from NDVI value. Terrestrial ecological model was adopted to calculate temperature stress factor. Simpler evaporating ratio was adopted to calculate moisture stress factor. By establishing quantitative relationship between spectral feature band and land surface parameter, estimated salinity stress factor of wetland salt-resistant vegetation. Spatio-temporal distribution feature of Panjin wetland vegetation NPP was analyzed. According to observed data of temperature and precipitation from weather stations in study area in 2004—2009, separately analyzed correlation relationship between temperature and

基金项目: 辽宁省教育厅科学研究一般项目 (L2010226); 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (10YJCZH156); 教育部人文社会科学重点研究基地项目 (08JJD790142)

收稿日期: 2011-08-29; 修订日期: 2012-02-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wlw9585@163.com

precipitation with month average NPP of main vegetation type reed in Panjin wetland during growth season, as well as correlation relationship between temperature and precipitation with annual average NPP of Panjin vegetation in 2004—2009, acquired respond trend of wetland vegetation NPP towards temperature and precipitation. Results showed: wetland area in Panjin (including water body, wet meadow, saline seepweed, paddy, reed, and pond, which were classified in this paper) about account for 77.2% of total area of Panjin City. Main vegetation in Panjin wetland covered (including wet meadow, Saline Seepweed, paddy, and reed, which were classified in this paper) about 51.6% area of Panjin City. In 2004—2009, among different land cover types of wetland, the area of water body and wet meadow is decreasing, and the area of paddy, reed, saline seepweed, and pond is obviously increasing. Among these land cover types, the increased area of paddy is the biggest (155.19 km^2), followed by saline seepweed (24.18 km^2), pond (21.50 km^2), and reed (10.75 km^2). Slowly recovery trend has appeared in Wetland. In 2009, vegetation net primary productivity in Panjin City is between $0\text{—}1175 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, and average value is $553 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. In general, spatial distribution of vegetation NPP in Panjin City show gradually increased trend from northeast to southwest. The high value region of vegetation NPP mainly concentrate in Shuangtaizi River, and Big Liao River watershed, where reed and paddy widely spreaded. Among different wetland vegetation types, average NPP in unit area of reed is the highest, up to $1016 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, thereafter is paddy ($464 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), saline seepweed ($377 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), and wet meadow ($357 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$). From 2004 to 2009 average vegetation NPP value in unit area in Panjin region is slowly rising. Among them average vegetation NPP in unit area of Panjin City is the biggest in 2009, up to $553 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, and the average NPP value is the smallest ($511 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) in 2007. In general the influence of temperature to NPP of reed which is the main vegetation type in Panjin wetland is greater than precipitation. With month forward, correlation relationship between NPP with temperature and precipitation is gradually decreasing. In 2004—2009 the influence of precipitation to annual average vegetation NPP in Panjin region is greater than temperature.

Key Words: wetland; net primary productivity; remote sensing; Panjin

湿地是地球上最具生产力的生态系统之一,也是最富生物多样性的生态系统之一,它不仅能为人类的生产、生活提供多种资源,同时还具有很高的经济价值、独特的环境调节功能和生态效益^[1-4]。由于近几十年来人类活动日益频繁,使得我国湿地资源急剧减少,以有效监测与合理保护湿地为目的的湿地监测及其相关研究已成为湿地研究领域的一个重要研究方向^[5-8]。

目前国内外湿地生产力研究普遍都采用了遥感技术^[9-14]。但是,近年来对湿地生产力的研究主要集中在对湿地植被生物量的估算上,而对湿地植被 NPP 的研究多出现在大尺度区域对多种地表植被覆盖类型 NPP 的粗略估算上,这些研究大都将湿地划分为一个类,没有进一步考虑湿地具体的植被组成状况和水文生态环境特点。因此需要根据具体的水文生态环境特点,改进湿地主要植被 NPP 的估算方法,以提高湿地植被 NPP 的估算精度。

本文为了提高湿地分类精度,先提取了湿地分类类型,再进行其他土地覆盖类型分类。将水文地形参量数据、SAR 数据与 CBERS 数据采用主成分变换算法进行融合,再采用分类回归树 CART 算法构建的决策树进行研究区湿地分类类型提取。在此基础上,充分考虑湿地生态系统的典型特征,构建了基于光能利用率和遥感数据的湿地植被净初级生产力模型。

1 研究区概况

盘锦湿地地处 $40^{\circ}39'\text{—}41^{\circ}27'\text{N}$, $121^{\circ}25'\text{—}122^{\circ}31'\text{E}$, 位于辽河三角洲核心位置,代表着整个辽河三角洲的总体特征。它濒临渤海湾,属于暖温带大陆性半湿润季风气候,年平均气温 8.6°C , 年降水量为 $611.6\text{—}640.0 \text{ mm}$ 。该地区在大辽河、双台子河、大凌河等河流和海洋的交互作用下形成了面积巨大的湿地生态系统。土壤有草甸土、盐土、沼泽土、水稻土等类型。土壤质地以壤性土分布最广,土壤中盐分含量呈现从沿海

向内陆递减的趋势。湿地植被主要有芦苇、翅碱蓬等天然湿地植物群落,以及水稻田、虾蟹田等人工湿地类型。盘锦市是全国最大湿地之一,是亚洲第二大的芦苇生产基地,也是辽宁主要商品粮的优质大米出口基地^[15]。

2 数据来源与预处理

2.1 遥感数据

采用的 CBERS 数据是由中国资源卫星应用中心提供的 CCD 图像数据,空间分辨率为 20m,时相为 2004—2009 年。本文选取的 CBERS 影像覆盖了盘锦湿地区域,轨道号分别为 368/54、369/54。研究采用 ENVI 软件的 FLAASH 模块,对 CBERS 影像进行了大气校正。从研究区 1:10000 地形图上选取了 30 个地面控制点,采用二次多项式模型和双线性内插法,对图像进行了几何精校正和配准。

本文采用的 SAR 数据是由中国科学院对地观测与数字地球科学中心的对地观测数据共享计划所支持的 ERS2 影像数据,分别为 2006 年 5 月 10 日、2007 年 8 月 8 日、2008 年 8 月 27 日、2009 年 9 月 16 日 4 个时相数据,所选图像覆盖了研究区盘锦湿地。ERS2 SAR 数据空间分辨率为 12.5 m×12.5 m,工作波段为 C 波段,极化方式为 VV 极化。以配准好的相近时相 CBERS 图像为基准影像,对各个时相的 SAR 影像进行几何精校正和配准。

研究使用的 DEM 数据是全球 GDEM 30 m 数字高程数据,来自于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据服务平台。ASTER GDEM 的垂直精度为 20 m,水平精度为 30 m。

2.2 气象数据

研究使用的 2004—2009 年降水量、平均气温、日照时数、气压、平均风速、平均空气相对湿度等气象数据,来自盘锦地区的大洼、盘锦、盘山气象观测台站的观测数据。

2.3 野外实验数据

实验时间选在 8 月份(盘锦湿地植被生长状况最好的季节)进行,植被实验对象为湿地主要植被类型芦苇(*Phragmites communis*)、水稻、翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)等。实验使用的仪器包括 LAI-2000 叶面积指数仪、ASD 便携式光谱仪、LI-6400 便携式光合仪、GPS、数字式热偶点温计和 SUNSCAN 冠层分析仪。采样点的布设依据遥感影像解译、土壤类型、植被类型等因素确定。实验观测内容主要包括光能利用率、大气温度、地表温度、相对空气湿度、光合有效辐射、FPAR(由测量数据计算获得)、叶面积指数、光谱数据等。同时,记录了采样点经纬度坐标,采集土壤和植株样本,记录植被类型和植被覆盖状况。将采集的样本带回实验室,测定土壤含盐量和植株鲜干生物量。

3 研究方法

3.1 湿地土地覆盖分类方法

本文参照了《湿地公约》分类系统^[16],采用了 CBERS、SAR 和 DEM 数据。为了提高湿地分类精度,本研究按先提取湿地分类类型、再进行其他土地覆盖类型分类这两个步骤,完成研究区的土地覆盖类型分类。

研究区湿地分类方法:首先,基于水文信息是湿地识别的重要特征,采用 ArcGIS 水文分析模块的模拟结果生成水文地形参量数据。该模块的数据源主要是 DEM 数据,利用水文分析工具提取水流方向(基于 D8 算法)、汇流累积量。其次,将水文地形参量数据、SAR 数据与 CBERS 数据采用主成分变换算法进行融合,取第一主成分,做纹理分析。计算得到的反映纹理特征的均值、方差、均匀度、对比度、非相似度、熵、角二阶矩、相关度,作为特征因子。连同 CBERS 多光谱波段、SAR 数据和 DEM 数据,也作为湿地识别与提取的特征层。最后,在实地考察和 google earth 遥感图像作参考的基础上,在 ENVI 软件中,利用 ROI 工具分别选取各湿地分类类型的样点数据,计算样点数据在各个特征层上的统计数据,利用分类回归树 CART 算法构建的决策树进行研究区湿地分类类型提取。

研究区其他土地覆盖类型分类方法:首先,将分类得到的湿地类型在融合后图像上做掩膜处理。其次,为解决混合像元的存在而导致图像分类精度不高的问题,采用混合像元分解模型结合神经网络法。由融合后图

像的散点图得到水体、植被、建设用地和裸地三大类的光谱特征端元。再由图像中混合像元反射率和各端元在各波段的反射率通过混合像元分解方程可获得各组分丰度的分类特征,将混合像元归到组分丰度最大的一类中。最后,采用监督分类方法,将植被大类进一步分为旱地、林地和草地,另外对建设用地和裸地大类进行细分。

3.2 湿地植被 NPP 估算

最初由 Monteith 提出的原理认为在水分充足、温度适合条件下,植被的 NPP 与它所吸收的太阳能量线性相关,并进一步提出了光能利用效率模型概念^[17]。基于此理论,在充分考虑湿地生态系统典型特征的基础上,本文构建了基于光能利用率和遥感数据的湿地植被净初级生产力模型:

$$NPP = \varepsilon_{\max} \times PAR \times FPAR \times T \times W \times S$$

式中, ε_{\max} 为最大光能利用率,单位为 gC/MJ; PAR 为光合有效辐射,单位为 MJ/m²; FPAR 为植被层对入射光合有效辐射(PAR)的吸收分量,无量纲; T 为温度胁迫因子,无量纲; W 为水分胁迫因子,无量纲; S 为盐分胁迫因子,无量纲。

3.2.1 最大光能利用率估算

植被最大光能利用率是指植被在没有任何限制性的理想条件下对光合有效辐射的利用率,不同植被类型的光能利用率具有明显的差异。如果通过野外实验和文献资料能够确定相应植被类型的 NPP、PAR、FPAR、T、W、S 数值,那么可以估算出该植被类型最大光能利用率的取值:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{NPP}{PAR \times FPAR \times T \times W \times S}$$

本文采用遗传算法来确定上式估算最大光能利用率模型的最大值。遗传算法是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法,研究选用了 MATLAB 软件来实现。程序取运算精度为 0.0001,初始种群为 50,进化代数 45,交配概率为 0.90,变异概率为 0.09。

3.2.2 PAR 估算

依次计算大气上界太阳辐射、陆表太阳辐射,再计算陆表太阳辐射中 0.4—0.7 μm 波长的辐照强度,即为 PAR 值^[18-19]。

3.2.3 FPAR 估算

本文根据 NDVI 值采用线性方法计算 FPAR 值。NDVI 的最低值取 0.05,是因为裸露土壤的平均 NDVI 值为 0.05。而 NDVI 的最高值取 0.63,是因为在生长季湿地内芦苇生长最为茂密,其 NDVI 值最高可达 0.63。NDVI 值为 0.05 时,植被对光合有效辐射的吸收比例为 0%; NDVI 值为 0.63 时,植被对光合有效辐射的吸收比例为 96%。具体 FPAR 的计算公式如下:

$$FPAR = 1.69 \times NDVI - 0.08$$

3.2.4 温度胁迫因子估算

本研究采用陆地生态模型中的方法来计算温度胁迫因子^[20]:

$$T_s = \frac{(T - T_{\min})(T - T_{\max})}{(T - T_{\min})(T - T_{\max}) - (T - T_{\text{opt}})^2}$$

式中, T 为大气温度, T_{\min} 、 T_{opt} 和 T_{\max} 分别为光合作用的最低、最适和最高温度。如果大气温度低于 T_{\min} 或高于 T_{\max} , 将 T_s 定为 0。在本研究中, T_{\min} 和 T_{\max} 分别被定为 0 和 37℃。同时,假设植物已经适应了其所生长的环境的温度, T_{opt} 可定为生长季的长期平均温度。

3.2.5 水分胁迫因子估算

湿地环境是由湿地水分、湿地生物地球化学和生物对环境的适应和改造而形成的,湿地水分条件从根本上控制着湿地的物质循环和能量平衡^[21]。湿地有着不同于森林、荒漠等生态系统的特点,表现在湿地生态系统地表状态复杂,存在干燥、湿润或过湿状态的空间和时间分布差异。因此,采用传统的水分胁迫因子计算方

法,难以适合有着特殊水文生态环境的湿地来估算水分对 NPP 的影响。本文采用较为简单易行的蒸发比 (EF) 来计算水分胁迫因子^[22-24]:

$$EF = \frac{1}{\beta + 1}$$

式中, β 为波文比,其值等于感热通量与潜热通量的比值。

3.2.6 盐分胁迫因子估算

本文采用建立光谱特征波段与地表参数的定量关系的方法来实现。具体步骤是:在研究区内采集土壤样本并同时测量土壤的光谱数据,采集的样本采用常规分析法确定土壤各离子组成,计算出相应的土壤盐分含量。找出土壤盐分含量的敏感波段范围,发现 CBERS 的 Band1 和 Band2 波段与土壤盐分含量变化相关性强,因此建立了 Band1、Band2 反射率数据与土壤盐分含量数据的线性回归方程。最后,计算土壤盐分含量与耐盐植被的耐盐能力值的偏移程度,即为盐分胁迫因子。

3.3 湿地植被 NPP 对气温降水的响应

气候变化对湿地生态系统具有显著影响,气候因子与植被 NPP 的相关关系也一直受到诸多研究的关注。本文根据研究区气象台站提供的 2004—2009 年气温和降水量的观测数据,分别对盘锦湿地主要植被类型芦苇生长季内的月平均 NPP 与气温和降水的相关关系,以及 2004—2009 年盘锦植被年平均 NPP 与气温和降水的相关关系进行了分析,以获得湿地植被 NPP 对气温和降水的响应趋势。

4 结果与分析

4.1 湿地土地覆盖分类结果

2009 年盘锦市土地覆盖分类结果如图 1 所示。盘锦湿地面积(包括本文分类结果中的水体、湿草甸、翅碱蓬、水稻、芦苇和养殖塘)约占盘锦市总面积的 77.2%。盘锦湿地主要植被覆盖面积(包括本文分类结果中的湿草甸、翅碱蓬、水稻和芦苇)约占盘锦市总面积的 51.6%。其中,水稻覆盖面积比例最大(29.0%),其后依次为芦苇(20.2%)、翅碱蓬(1.4%)、湿草甸(1.0%)。由图 1 可知,盘锦湿地主要植被空间分布特征是:①芦苇主要分布于大辽河流域的张家塘、碾房、林苇、荣滨、辽河地区,双台子河流域的赵圈河乡、兴海、兴隆台区、东郭镇地区,饶阳河流域的羊圈子镇地区等;②翅碱蓬普遍分布于盐度较高的潮滩上,尤其是滨海潮沟两侧更适宜生长,主要集中在双台子河口左岸接官厅至二界沟、双台子河口右岸三道沟等处;③湿草甸多分布于盘锦市境内双台子河、大辽河、饶阳河等河流的河漫滩,以及地势低洼的沟谷处;④水稻种植地主要集中在大洼县,其次为盘山县,兴隆台区和双台子区的水稻种植面积较少。

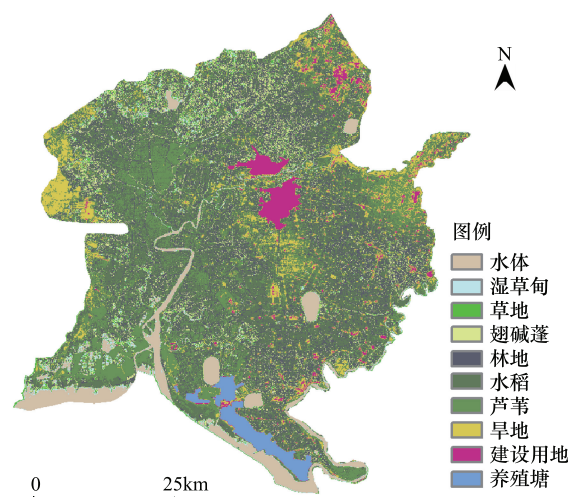


图 1 2009 年盘锦市土地覆盖分类图

Fig. 1 Land cover map of Panjin Prefecture in 2009

2004 年与 2009 年盘锦市土地覆盖分类结果对比表明(表 1):非湿地分类类型中,草地和旱地所占面积有所减少,减少量分别为 12.55 km² 和 24.37 km²,而建设用地和林地所占面积增加量分别为 7.32 km² 和 22.5 km²。建设用地以市区为中心在不断扩张,呈现放射状零星分布。这是因为人口数量的急剧增加,随之带来了村镇居民用地的扩展、高速公路的兴建和石油开采的增多所致。在湿地分类类型中,水体和湿草甸所占面积在减小,变化量分别为 195.68 km² 和 8.84 km²。水稻、芦苇、翅碱蓬和养殖塘的面积都明显增加。水稻作为一种人工湿地类型,面积增加量最大,达到 155.19 km²。近年来保护措施的实施和人工种植的增多,使得翅碱蓬的面积增加量居于其次(24.18 km²)。其后分别为养殖塘(21.50 km²)和芦苇(10.75 km²)。由此可

见,随着双台子河口国家自然保护区的建立、湿地保护对策的制定和湿地保护意识的增强,湿地已呈现缓慢恢复的趋势。

4.2 湿地 NPP 时空分布特征

4.2.1 湿地植被 NPP 的空间分布

2009 年盘锦市植被 NPP 的空间分布见图 2。统计结果表明,2009 年盘锦市植被净初级生产力介于 0—1175 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间,平均值为 553 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。总体来看,盘锦市植被 NPP 空间分布规律呈东北向西南逐渐递增的趋势。植被 NPP 值高的区域主要集中在双台子河、大辽河流域广泛分布芦苇和水稻的区域,包括兴隆台区、赵圈河乡、东郭镇、羊圈子镇、唐家乡、西安镇等区域。需要注意的是,在双台子河口国家自然保护区内植被 NPP 值较高,一般在 490—950 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。这反映出在该区域内由于保护措施的实施,广泛分布的湿地植被生长状况较好。

表 1 研究区土地覆盖分类结果统计表

Table 1 Statistic table of land cover classification results in study region

代码 Code	植被类型 Vegetation types	面积 Area/ km^2	
		2004 年	2009 年
1	水体	1109.65	913.97
2	湿草甸	48.09	39.25
3	草地	57.92	45.37
4	翅碱蓬	34.21	58.39
5	林地	68.19	75.51
6	水稻	1023.43	1178.62
7	芦苇	812.73	823.48
8	旱地	185.78	161.41
9	建设用地	622.47	644.97
10	养殖塘	108.63	130.13

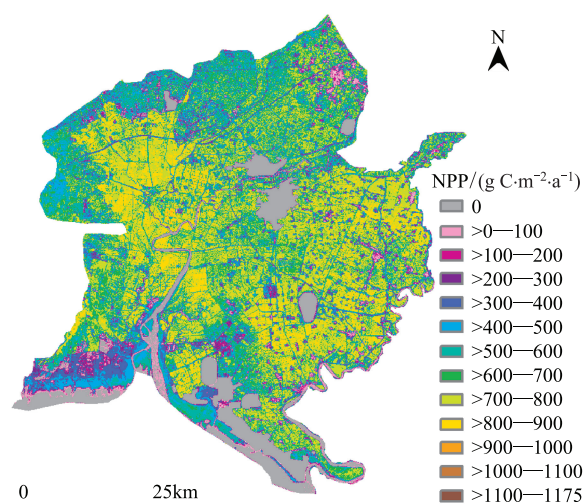


图 2 2009 年盘锦市植被 NPP 空间分布

Fig. 2 Spatial distribution map of vegetation NPP in Panjin Prefecture in 2009

图 3 显示了盘锦市各种植被类型 NPP 及其总量的分布特征。非湿地植被分类类型中,单位面积平均 NPP 最高的为林地($812 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),其次为旱地($623 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),再次为草地($304 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)。在湿地植被分类类型中,芦苇的单位面积平均 NPP 最高,达到 $1016 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。其后,依次为水稻($464 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)、翅碱蓬($377 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)、湿草甸($357 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)。NPP 总量为各种植被类型的单位面积平均 NPP 乘以它们各自所占的面积。2009 年 NPP 总量最大的为芦苇(0.84 TgC/a) ($1 \text{ Tg} = 10^{12} \text{ g}$),其次为水稻(0.55 TgC/a)。其后依次为旱地(0.10 TgC/a)、林地(0.06 TgC/a)、翅碱蓬(0.02 TgC/a)、湿草甸和草地(均为 0.01 TgC/a)。整个湿地生态系统(包括本文分类结果中的湿草甸、翅碱蓬、水稻和芦苇)的年 NPP 总量为 1.42 TgC/a ,约占 2009 年盘锦市 NPP 总量的 89.3%。由此可见,湿地生态系统在区域生态中蕴含高份额的能量,是盘锦地区最富生产力的生态系统。

4.2.2 湿地植被 NPP 的时相变化

盘锦湿地主要植被类型芦苇在生长季的 NPP 变化如图 4 所示。4—9 月为盘锦湿地植被的生长季。4 月是芦苇刚萌发新芽开始生长的时期。2009 年 4 月的芦苇平均 NPP 值较高,达到了 149 gC/m^2 ,比 5 月份芦苇平均 NPP 值高出了 12 gC/m^2 。主要因为这一年与往年相比平均降水量显著增大,充沛的降水量提供了芦苇快速生长的有利水分条件。6—7 月水分和光热条件充分保证的情况下,是芦苇生长最为快速的时期,其中 6 月份芦苇平均 NPP 值迅速增加至 207 gC/m^2 。而 7 月份芦苇群落株高达到最高,平均 NPP 值也达到了最大值,为 236 gC/m^2 。7 月之前芦苇光合作用产物主要分配在地上部分。7 月之后芦苇叶片的脱落使单株叶重

逐渐降低,而且单位面积内芦苇株数也在减少,芦苇营养生长缓慢,芦苇的 NPP 值迅速下降并趋于稳定。8 月芦苇平均 NPP 为 $120 \text{ gC}/\text{m}^2$ 。8—9 月芦苇的光合产物一部分用于抽穗,一部分向地下转移。9 月之后光合作用产物主要向地下部分分配,有助于营养物质的贮存,以干物质的形式储存用于第 2 年萌发。9 月芦苇平均 NPP 迅速降至 $98 \text{ gC}/\text{m}^2$ 。可以看出,生长季是芦苇 NPP 的主要积累期,这 6 个月的 NPP 占了年度 NPP 总量的 93.2%。

图 4 显示了盘锦湿地主要植被类型翅碱蓬 NPP 的生长季变化情况。普遍生长在盘锦海岸带滩涂上的翅碱蓬生育期主要在 4—9 月的生长季。4 月份平均气温达 10°C , 10 cm 土温稳定在 9°C 时,翅碱蓬开始出苗生长,进入幼苗期,此时平均 NPP 为 $51 \text{ gC}/\text{m}^2$ 。在进入 5 月后植株开始出现分枝,这时地温回升加快,营养生长速度也加快,但由于相比 2009 年 4 月降水量的降低,当月翅碱蓬平均 NPP 也略有降低,为 $40 \text{ gC}/\text{m}^2$ 。6—7 月是翅碱蓬生长最快时期,6 月翅碱蓬平均 NPP 快速增长至 $74 \text{ gC}/\text{m}^2$ 。7 月翅碱蓬平均 NPP 达到最大值($82 \text{ gC}/\text{m}^2$)。8 月翅碱蓬生长速度明显下降,平均 NPP 仅为 $39 \text{ gC}/\text{m}^2$ 。8 月末至 9 月上中旬翅碱蓬开花,进入生殖生长期,此时营养生长较为缓慢,平均 NPP 约为 $34 \text{ gC}/\text{m}^2$ 。4—9 月的生长季,翅碱蓬 NPP 的积累量占了年度 NPP 总量的 84.8%。

本文采用所构建的湿地植被 NPP 估算模型,得到了 2004—2009 年盘锦市植被 NPP 的统计值(表 2)。2009 年盘锦市植被单位面积平均 NPP 最大,达到 $553 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。2007 年 NPP 平均值最小($511 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),可能受降水量较低的影响,2007 年全年降水量总合只达到 508 mm,约低于 6a 平均降水量 100 mm。总体来看,6a 以来研究区植被单位面积平均 NPP 值在缓慢上升。基于表 2 中的 NPP 数据,采用统计软件绘制折线图,得到的图表也清晰地表明一个上升的趋势。在图表中添加线性趋势线,得到该趋势线的回归公式为 $y = 6.257x + 505.6$ 。

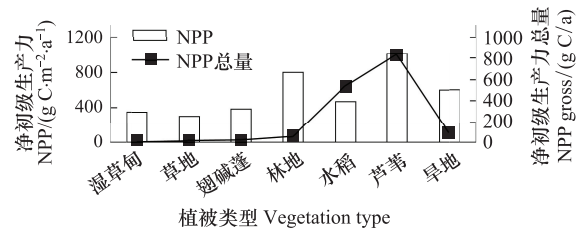


图 3 2009 年盘锦市各植被类型的 NPP 及其总量

Fig. 3 NPP and its gross of various vegetation type in Panjin Prefecture in 2009

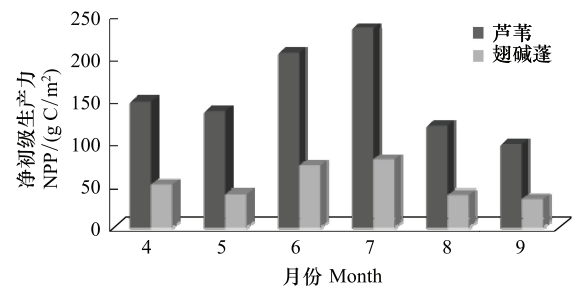


图 4 盘锦湿地主要植被类型芦苇、翅碱蓬生长季内的 NPP 变化

Fig. 4 NPP variation of main vegetation type *Phragmites communis* and *Suaeda heteroptera* in growth season in Panjin wetland

表 2 2004—2009 年盘锦市植被 NPP 统计值

Table 2 Statistic value of vegetation NPP in Panjin Prefecture in 2004—2009

年份 Year	最小值/ $(\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$ Minimum	最大值/ $(\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$ Maximum	平均值/ $(\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$ Mean	标准差 Standard deviation
2004	0	998	520	312
2005	0	993	518	281
2006	0	1006	523	294
2007	0	982	511	279
2008	0	1103	540	309
2009	0	1175	553	318

4.3 湿地植被 NPP 对气温和降水的响应特征

对盘锦湿地主要植被类型芦苇在生长季内的月平均 NPP 与当月平均气温和降水进行相关分析表明(图 5),总体上盘锦地区气温对芦苇 NPP 的影响要强于降水。并且随着月的推进,NPP 与气温和降水的相关系数在逐渐减少。这一结论与我国东部地区的研究结论不尽相同^[25],可能受湿地生态系统独特的水文周期的影

响。5 月芦苇月平均 NPP 与气温的相关系数最大(0.81),在 9 月份二者的相关系数最小(0.40)。芦苇月平均 NPP 与降水相关系数的最大值出现在 4 月份(0.70),二者相关系数的最小值出现在 8 月份(0.39)。

图 6 显示了 2004—2009 年盘锦植被年平均 NPP 与当年气温和降水的相关系数。从图中可以看出,降水对盘锦地区植被年平均 NPP 的影响强于气温。2007 年盘锦植被平均 NPP 与降水的相关系数最大(0.78),2005 年二者的相关系数最小(0.55)。盘锦植被平均 NPP 与气温的最大相关系数是 2007 年的 0.71,二者的最小相关系数是 2006 年的 0.48。

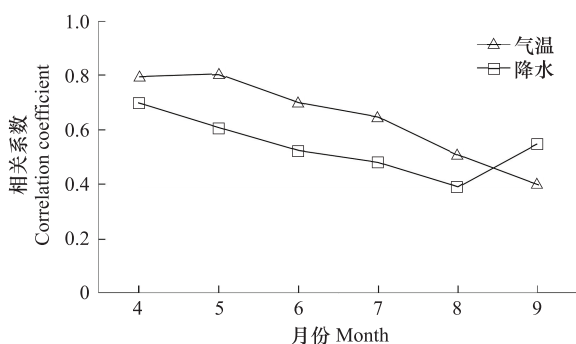


图 5 盘锦湿地主要植被类型芦苇生长季内的月平均 NPP 与气温和降水的相关系数

Fig. 5 The correlation coefficient between monthly mean NPP and temperature & precipitation for the reed that is the main vegetation type in Panjin wetland during growth season

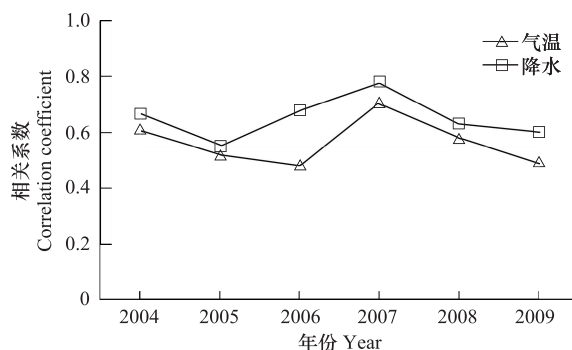


图 6 2004—2009 年盘锦植被 NPP 与气温和降水的相关系数

Fig. 6 The correlation coefficient between vegetation NPP in Panjin and temperature & precipitation in 2004—2009

5 结论与讨论

(1) 盘锦湿地面积约占盘锦市总面积的 77.2%,盘锦湿地主要植被覆盖面积约占盘锦市总面积的 51.6%。2004—2009 年在湿地分类类型中,水体和湿草甸所占面积在减小,水稻、芦苇、翅碱蓬和养殖塘的面积都明显增加,湿地已呈现缓慢恢复的趋势。

(2) 2009 年盘锦市植被净初级生产力介于 $0—1175 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,平均值为 $553 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。总体来看,盘锦市植被 NPP 空间分布规律呈东北向西南逐渐递增的趋势。在湿地植被分类类型中,芦苇的单位面积平均 NPP 最高,达到 $1016 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

(3) 2004—2009 年盘锦植被单位面积平均 NPP 值在缓慢上升。其中,2009 年盘锦市植被单位面积平均 NPP 最大,达到 $553 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,2007 年 NPP 平均值最小($511 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

(4) 总体上气温对盘锦湿地主要植被类型芦苇 NPP 的影响要强于降水。并且随着月的推进,NPP 与气温和降水的相关系数在逐渐减少。2004—2009 年降水对盘锦地区植被年平均 NPP 的影响强于气温。

将合成孔径雷达 SAR 数据与多光谱 CBERS 数据融合,可以充分将它们各自在湿地植被信息分析中的优点结合起来。CBERS 图像的第四($0.77—0.89 \mu\text{m}$)波段较图像的其它短波段来说受大气影响较轻,并且对植被及其含水量、水体检测效果较好的特性,使它对湿地植被的分析是比较有利的。合成孔径雷达 SAR 是 CBERS 数据的极好补充信息源,SAR 对含水量和地表物质纹理敏感,能够提供更多地形特征。一些研究表明,C 波段 VV 极化雷达数据适合探测以草本植被为主的湿地地区。另外,湿地的水文特征至关重要,它的变化会引起湿地生态系统结构、功能以及生态特征发生改变。因此,在雷达数据与光学数据融合的过程中,将水文地形参量作为多源数据之一引入融合算法中。总之,这些技术在本文湿地分类方法中的采用,可以增强对湿地植被类型的识别能力,提高湿地的分类精度,取得最佳的监测效果。

根据研究区盘锦湿地主要植被类型芦苇沼泽群落、翅碱蓬群落等的耐盐特点,将盐分胁迫因子作为这些耐盐植被光能利用率的环境影响因子之一。在此基础上构建的基于光能利用率的盘锦湿地 NPP 遥感估算模

型,能够充分考虑研究区湿地生态系统的典型特点,因此提高了盘锦湿地 NPP 的估算精度。

References:

- [1] Zhang W J, Tong C L, Wu J S, Xu M G, Song C C. Simulating and predicting of carbon cycling in typical wetland ecosystems. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(9): 1905-1911.
- [2] Xu L L, Zhang Y S, Chen P S, Mao L X. Analysis on the changing characteristics and influencing factors of Panjin Wetland during the past 20 years. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(3): 483-490.
- [3] Wei Y X, Wang L W. The study on simulating light use efficiency of vegetation in Qinghai Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5209-5216.
- [4] Zhou L Y, Jiang N, Dou H S. Wetland changes in rapidly urbanizing areas: a case study on Nanjing City. *Resources Science*, 2010, 32(4): 712-717.
- [5] Frolking S, Roullet N T, Moore T R, Richard P J H, Lavoie M, Muller S D. Modeling northern peatland decomposition and peat accumulation. *Ecosystems*, 2001, 4(5): 479-498.
- [6] Brix H, Sorrell B K, Lorenzen B. Are phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*, 2001, 69(2/4): 313-324.
- [7] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 2004, 304(5677): 1623-1627.
- [8] Camill P, Lynch J A, Clark J S, Adams J B, Jordan B. Changes in biomass aboveground net primary production, and peat accumulation following permafrost thaw in the boreal peat lands of Manitoba. *Canada Ecosystems*, 2001, 4(5): 461-478.
- [9] Moreau S, Bosseno R, Gu X F, Baret F. Assessing the biomass dynamics of Andean *bofedal* and *titora* high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 85(4): 516-529.
- [10] Cook B D, Bolstad P V, Næset E, Anderson R S, Garrigues S, Morissette J T, Nickeson J, Davis K J. Using LiDAR and quickbird data to model plant production and quantify uncertainties associated with wetland detection and land cover generalizations. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(11): 2366-2379.
- [11] Tian H Q, Chen G S, Liu M L, Zhang C, Sun G, Lu C Q, Xu X F, Ren W, Pan S F, Chappelka A. Model estimates of net primary productivity, evapotranspiration, and water use efficiency in the terrestrial ecosystems of the southern United States during 1895—2007. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(7): 1311-1327.
- [12] Li R D, Liu J Y. An estimation of wetland vegetation biomass in the Poyang Lake using Landsat ETM data. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(5): 532-540.
- [13] Li X, Ye J A, Wang S G, Liu K, Liu X P, Qian J P, Chen X Y, He Z J, Qin C F. Estimating mangrove wetland biomass using radar remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 387-396.
- [14] Guo Z X, Wang Z M, Song K S, Liu D W, Zhang B. Spatial features of productivity variability of marsh in the Sanjiang Plain. *Wetland Science*, 2008, 6(3): 372-378.
- [15] Xiao D N, Hu Y M, Li X Z. Landscape Ecology Analysis of the Delta Wetland Circling Bohai Ocean. Beijing: Science Press, 2001: 34-78.
- [16] Zhang J L, Liu Y F, Chen J W. Guide on Implementing Ramsar Convention in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001: 21-30.
- [17] Monteith J L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 1972, 9(3): 747-766.
- [18] Seaquist J W, Olsson L, Ardö J. A remote sensing-based primary production model for grassland biomes. *Ecological Modelling*, 2003, 169(1): 131-155.
- [19] Olofsson P, Eklundh L. Estimation of absorbed PAR across Scandinavia from satellite measurements. Part II: Modeling and evaluating the fractional absorption. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 110(2): 240-251.
- [20] Raich J W, Rastetter E B, Melillo J M, Kicklighter D W, Steudler P A, Peterson B J, Grace A L III, Vorosmarty C J. Potential net primary productivity in South America: application of a global model. *Ecological Applications*, 1991, 1(4): 399-429.
- [21] Meyers T P. A comparison of summertime water and CO₂ fluxes over rangeland for well watered and drought conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 106(3): 205-214.
- [22] Yuan W P, Liu S G, Zhou G S, Zhou G Y, Tieszen L L, Baldocchi D, Bernhofer C, Gholz H, Goldstein A H, Goulden M L, Hollinger D Y, Hu Y M, Law B E, Stoy P C, Vesala T, Wofsy S C. Deriving a light use efficiency model from eddy covariance flux data for predicting daily gross primary production across biomes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 143(3/4): 189-207.
- [23] He Q J, Zhou G S, Zhou L, Wang Y L. Model comparisons for estimating water and heat fluxes of reed wetland ecosystem in Panjin. *Journal of Meteorology and Environment*, 2006, 22(4): 35-41.

- [24] Kure S A, Small E E. Dynamics of evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems during the summer monsoon season, central New Mexico. *Water Resources Research*, 2004, 40: W09305, doi:10.1029/2004WR003068.
- [25] Cui L L, Shi J, Yang Y M, Fan W Y. Ten-day response of vegetation NDVI to the variations of temperature and precipitation in eastern China. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(7): 850-860.

参考文献:

- [1] 张文菊, 童成立, 吴金水, 徐明岗, 宋长春. 典型湿地生态系统碳循环模拟与预测. *环境科学*, 2007, 28(9): 1905-1911.
- [2] 徐玲玲, 张玉书, 陈鹏狮, 毛留喜. 近 20 年盘锦湿地变化特征及影响因素分析. *自然资源学报*, 2009, 24(3): 483-490.
- [3] 卫亚星, 王莉雯. 青海省植被光能利用率模拟研究. *生态学报*, 2010, 30(19): 5209-5216.
- [4] 周连义, 江南, 窦鸿身. 城市化地区湿地变化分析——以南京市为例. *资源科学*, 2010, 32(4): 712-717.
- [12] 李仁东, 刘纪远. 应用 Landsat ETM 数据估算鄱阳湖湿生植被生物量. *地理学报*, 2001, 56(5): 532-540.
- [13] 黎夏, 叶嘉安, 王树功, 刘凯, 刘小平, 钱峻屏, 陈晓越, 何执兼, 覃朝锋. 红树林湿地植被生物量的雷达遥感估算. *遥感学报*, 2006, 10(3): 387-396.
- [14] 国志兴, 王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 张柏. 三江平原沼泽湿地植被净初级生产力空间变化特征分析. *湿地科学*, 2008, 6(3): 372-378.
- [15] 肖笃宁, 胡远满, 李秀珍. 环渤海三角洲湿地的景观生态学研究. 北京: 科学出版社, 2001: 34-78.
- [16] 张建龙, 刘永范, 陈建伟等. 湿地公约履约指南. 北京: 中国林业出版社, 2001: 21-30.
- [23] 何奇瑾, 周广胜, 周莉, 王云龙. 盘锦芦苇湿地水热通量计算方法的比较研究. *气象与环境学报*, 2006, 22(4): 35-41.
- [25] 崔林丽, 史军, 杨引明, 范文义. 中国东部植被 NDVI 对气温和降水的旬响应特征. *地理学报*, 2009, 64(7): 850-860.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 19 October, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Assessment of monitoring methods for population abundance of Amur tiger in Northeast China	5943
..... ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai, JIANG Guangshun (5943)	
Changes of residents nitrogen consumption and its environmental loading from food in Xiamen	5953
..... YU Yang, CUI Shenghui, ZHAO Shengnan, et al (5953)	
Analysis of the meiobenthic community in the Pearl River Estuary in summer	5962
..... YUAN Qiaojun, MIAO Suying, LI Hengxiang, et al (5962)	
Community characteristics of phytoplankton in the coastal area of Leizhou Peninsula and their relationships with primary environmental factors in the summer of 2010	5972
..... GONG Yuyan, ZHANG Caixue, SUN Xingli, et al (5972)	
Morphological differences in statolith and beak between two spawning stocks for <i>Illex argentinus</i>	5986
..... FANG Zhou, CHEN Xinjun, LU Huajie, et al (5986)	
Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta	5998
..... TAN Xiangfeng, DU Ning, GE Xiuli, et al (5998)	
Variation analysis about net primary productivity of the wetland in Panjin region	6006
..... WANG Liwen, WEI Yaxing (6006)	
Mobilization of potassium from Soils by <i>rhizobium phaseoli</i>	6016
..... ZHANG Liang, HUANG Jianguo, HAN Yuzhu, et al (6016)	
Autotoxicity of aqueous extracts from plant, soil of peanut and identification of autotoxic substances in rhizospheric soil	6023
..... HUANG Yuqian, HAN Lisi, YANG Jinfeng, et al (6023)	
Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of <i>Trollius chinensis</i> Bunge	6033
..... LV Jinhui, WANG Xuan, FENG Yanmeng, et al (6033)	
Short-term effects of fire disturbance on greenhouse gases emission from sedge and shrubs forested wetland in Lesser Xing'an Mountains, Northeast China	6044
..... GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen, et al (6044)	
Plant species diversity and community classification in the southern Gurbantunggut Desert	6056
..... ZHANG Rong, LIU Tong (6056)	
Effects of mixing leaf litter from <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and <i>Larix principis-rupprechtii</i> with that of other trees on soil properties in the Loess Plateau	6067
..... LI Qian, LIU Zengwen, MI Caihong (6067)	
Effects of long-term intensive management on soil ammonia oxidizing archaea community under <i>Phyllostachys praecox</i> stands	6076
..... QIN Hua, LIU Borong, XU Qiufang, et al (6076)	
Hydrogen peroxide participates symbiosis between AM fungi and tobacco plants	6085
..... LIU Hongqing, CHE Yongmei, ZHAO Fanggui, et al (6085)	
Relationships between dominant arbor species distribution and environmental factors of shelter forests in the Beijing mountain area	6092
..... SHAO Fangli, YU Xinxiao, ZHENG Jiangkun, et al (6092)	
Analysis of rhizosphere microbial community structure of weak and strong allelopathic rice varieties under dry paddy field	6100
..... XIONG Jun, LIN Huifeng, LI Zhenfang, et al (6100)	
Root distribution in the different forest types and their relationship to soil properties	6110
..... HUANG Lin, WANG Feng, ZHOU Lijiang, et al (6110)	
Effect of silicon application on antioxidant system, biomass and yield of soybean under ozone pollution	6120
..... ZHAN Lijie, GUO Liyue, NING Tangyuan, et al (6120)	
Effect of landfill leachate irrigation on soil physiochemical properties and the growth of two herbaceous flowers	6128
..... WANG Shuqin, LAI Juan, ZHAO Xiulan (6128)	
Nitrous oxide emissions affected by tillage measures in winter wheat under a rice-wheat rotation system	6138
..... ZHENG Jianchu, ZHANG Yuefang, CHEN Liugen, et al (6138)	
Effects of different fertilizers on soil enzyme activities and CO ₂ emission in dry-land of maize	6147
..... ZHANG Junli, GAO Mingbo, WEN Xiaoxia, et al (6147)	
The response of agro-ecosystem productivity to climatic fluctuations in the farming-pastoral ecotone of northern China: a case study in Zhunger County	6155
..... SUN Tesheng, LI Bo, ZHANG Xinshi (6155)	
The relationship between energy consumption and carbon emission with economic growth in Liaoning Province	6168
..... KANG Wenxing, YAO Lihui, HE Jienan, et al (6168)	
Spatial distribution characteristics of potential fire behavior in Fenglin Nature Reserve based on FARSITE Model	6176
..... WU Zhiwei, HE Hongshi, LIANG Yu, et al (6176)	
Chill conservation of natural enemies in maize field with different post-crop habitats	6187
..... TIAN Yaojia, LIANG Guangwen, ZENG Ling, et al (6187)	
Effect of population of <i>Kerria yunnanensis</i> on diversity of ground-dwelling ant	6195
..... LU Zhixing, CHEN Youqing, LI Qiao, et al (6195)	
Response of <i>Parnassius apollo</i> population and vertical distribution to climate warming	6203
..... YU Fei, WANG Han, WANG Shaokun, et al (6203)	
Review and Monograph	
Integrated assessment of marine aquaculture ecosystem health: framework and method	6210
..... PU Xinming, FU Mingzhu, WANG Zongling, et al (6210)	
Seagrass meadow ecosystem and its restoration: a review	6223
..... PAN Jinhua, JIANG Xin, SAI Shan, et al (6223)	
Nutri-toxicological effects of cyanobacteria on fish	6233
..... DONG Guifang, XIE Shouqi, ZHU Xiaoming, et al (6233)	
Effect of environmental stress on non-structural carbohydrates reserves and transfer in seagrasses	6242
..... JIANG Zhijian, HUANG Xiaoping, ZHANG Jingping (6242)	
Advances in ecological immunology	6251
..... XU Deli, WANG Dehua (6251)	
Scientific Note	
The causes of spatial variability of surface soil organic matter in different forests in depressions between karst hills	6259
..... SONG Min, PENG Wanxia, ZOU Dongsheng, et al (6259)	
Characteristics of seed rain of <i>Haloxylon ammodendron</i> in southeastern edge of Junggar Basin	6270
..... LÜ Chaoyan, ZHANG Ximing, LIU Guojun, et al (6270)	

《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 19 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 19 (October, 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