

文章编号: 1007 4619(2007)01 0115 12

基于 DMSP OLS 灯光数据的快速城市化过程的生态效应评价研究

——以环渤海城市群地区为例

李景刚^{1,2}, 何春阳¹, 史培军¹, 陈晋¹, 潘耀忠¹, 一之瀬俊明³

(1 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京师范大学 资源学院, 北京 100875

2 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 3 日本国立环境研究所, 日本国茨城县筑波市小野川 16-2 筑波市)

摘要: 快速有效地评估城市化过程带来的生态环境后果, 对于优化城市土地利用格局、降低和防范城市生态环境风险, 非常必要。因此本文综合利用 DMSP OLS 夜间灯光数据和 SPOT VGT 时间序列数据等多源遥感信息, 以 NDVI 与时间的积分值来表征一定时间段内的植被初级生产力, 探讨了环渤海城市群地区城市化过程对植被初级生产力的季节性变化影响。发现: (1) 研究区全年总的平均初级生产力总体表现为城市地区低于非城市地区的特征。(2) 研究区平均初级生产力一般是在 8 月份最高, 而在 1 月份最低; 同时, 一个生长季内, 平均初级生产力总体呈现为 4—11 月城市地区低于非城市地区, 而 12 月到次年 3 月则是城市地区要高于非城市地区的趋势, 但这种趋势在各土地覆盖类型间也存在很大的不同。(3) 研究区全年总的平均初级生产力, 城市地区 NDVI 为 110.23d/km², 而非城市地区为 123.94d/km²; 两者相差 13.71d/km²; 即城市化过程已经在一定程度上减弱了研究区的植被初级生产力。

关键词: 城市化; 初级生产力; 环渤海地区; DMSP OLS 生态效应

中图分类号: P71/TP79 **文献标识码:** A

The Use of Multisource Satellite and Geospatial Data to Study the Ecological Effects of Urbanization: A Case of the Urban Agglomerations in Bohai Rim

LI Jing-gang^{1,2}, HE Chun-yang¹, SHI Pei-jun¹, CHEN Jin¹, PAN Yao-zhong¹, Ichinose Toshiaki³

(1 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster Ministry of Education of China, Beijing Normal University,

College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China

3 Japan National Institute of Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Japan)

Abstract In the paper, the change of vegetations' primary productivity was used as a central evaluating factor, the Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System (DMSP OLS) data and multisource satellite and geospatial data were combined in a geographic information system, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used to quasi-quantificationally study the effect of urbanization on the photosynthetic productivity and its seasonal changing law in the urban agglomerations of Bohai Rim, from the view of land use change. This work is an important preparation to further study the ecological effects of urbanization in all country scope. The conclusions are as follows: (1) The yearly mean total productivity of

收稿日期: 2005-11-28 修订日期: 2006-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40501001)。

作者简介: 李景刚 (1978—), 男, 2005 年毕业于北京师范大学地图学与地理信息系统专业获硕士学位。主要研究方向为: 遥感应用与土地利用覆盖变化等。已发表论文 7 篇。E-mail: shap818@163.com

the urban portion is less than that of non-urban part. (2) The yearly total average productivity commonly in August rises to its tip tops and in January touches down its nadirs. Moreover, in one growing season, the tendency of the productivity of the urbanized portion is less than that of non-urban part from April to November, but from December to March of next year that is precise antithesis. In the meantime, the tendency also has some differences to every land cover class. (3) In a global scale view, the yearly total average productivity for urban and non-urban areas of all the study area including all the land cover types is $110.23d/\text{km}^2$ and $123.94d/\text{km}^2$, respectively which has a dispersion of $13.71d/\text{km}^2$. It indicates that the continuing process of urbanization has been weakening the primary productivity of the Bohai Rim.

Key words urbanization; primary productivity; Bohai rim; DMSP OLS; ecological effects

1 引言

改革开放以来, 伴随经济水平的提高及人口数量的增加, 中国已经并正在经历快速的城市化过程^[1]。根据第五次全国人口普查数据显示, 中国的城市人口比重从 1982 年的 20%, 上升到 2000 年的 36%, 增长了 16%, 达到 45600 万人^[2]。根据国家计划生育委员会预测, 到 2025 年中国人口将突破 15 亿, 伴随着人口的持续增长和经济的快速发展, 中国的城市化过程将呈现进一步的加速趋势^[3]。同时, 由城市化过程带来的生态问题, 随城市规模的不断扩大也变得越来越严重。目前, 中国相当多的城市中出现的因超采地下水而导致的地质下陷、垃圾包围城市和河流湖泊污染、大气污染等严重的生态问题, 已直接影响了城市的可持续发展^[4]。因此, 如何有效、合理的评估城市化过程带来的生态环境后果, 对于合理优化城市土地利用格局、降低和防范城市生态环境风险, 显得尤为必要。

当前, 人们认识到随着经济的发展和人口的增多, 短时间尺度、小区域内, 人类活动对生态系统功能影响变得越来越剧烈, 甚至处于主导地位^[5]。已有的研究表明, 在自然环境条件下, 植被群落的初级生产力主要受植物本身的生物学特性(如物种的净同化率、叶面积指数、叶生活周期、群落的发育阶段、植冠结构等)、土壤特性(土壤养分、土壤理化特性等)、气候(如气温、降水、光照等)以及人类干扰和土地利用方式等因子的影响^[6]。而对于城市化过程中的城市扩展对植被初级生产力的影响主要表现为, 由于不渗水的水泥道路和建筑材料取代了天然的土壤和植被, 从而丧失了植被初级生产力产生的天然载体, 同时也改变了区域蒸散过程、空气湿度、地表反照率、热传导和热容量、地表水和地下水的径流特征, 最终形成了城市特殊的大气—土壤—水文系统和地表辐射特征, 造成植被初级生产力水平的

下降^[7]。因此, 国际上一些研究者已经在重点研究评价人类活动强干扰因素——城市化过程对生态系统的影响^[8-12], 其中, 多数学者把植被初级生产力(主要用净第一性生产力, Net Primary Productivity NPP 表征)作为衡量城市扩展对生态系统影响的一个指标, 结合 DMSP OLS (Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System) 数据, 单独从土地利用变化的角度来定量研究城市扩展造成的生态环境影响^[8-10]。例如:

(1) Inhoff 等人在利用 DMSP OLS 1994—1995 年间的稳定灯光产品提取美国城市空间分布^[8]的基础上, 选取了 7 个较大城市结合 NOAA AVHRR NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 等数据, 通过以某一时间段内的 NDVI 累加和来代表该时间段内的植被初级生产力总量的方法^[13-15], 对城市化过程对美国植被初级生产力带来的影响进行了季节性研究, 得到了美国城市扩展造成地表植被初级生产力总体下降, 和植被初级生产力相对较高的地区正处于快速城市化过程之中的结论^[8]。

(2) Miksi 等人首先在利用 DMSP OLS 1992—1993 年、2000 年的稳定灯光产品, 和参考美国 1992 年基于 LANDSAT TM 的土地覆盖分类图以及有关统计数据的基础上, 通过选取全局最优灯光频率阈值, 完成了美国东南部地区 (SE-US) 空间分辨率为 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的 1992 年土地覆盖类型图和 1992—2000 年城市空间扩展图。再者, 结合 MODIS NDVI 等数据, 采用光能利用模型对该地区 1992 年 NPP 总量以及 1992—2000 年由于城市扩展造成的 NPP 损失量进行了计算。结果显示, 1992—2000 年间美国 SE-US 地区城市面积增长了 1.9%, 而 NPP 的全年生产总量损失了 0.4%^[9]。

(3) Inhoff 等人同样在利用 DMSP OLS 1994—1995 年间的稳定灯光产品提取美国城市空间分布^[15]的基础上, 结合土地覆盖分类图和 NOAA AVHRR NDVI 等数据, 采用 CASA (Carnegie Stanford

Ames)模型,对比分析了城市地区与非城市地区 NPP 的季节性变化规律,以此来量化研究美国城市化过程对碳循环和粮食安全带来的影响。计算结果显示,城市化过程在一定程度上正影响着美国的生态安全和粮食安全^[10]。

从上可以看出,利用遥感信息进行大面积快速的生态影响评价研究,在国外已经成为一种趋势;然而在国内,目前众多的城市化遥感分析研究中,还主要集中在小尺度的城市土地利用分类、空间扩展监测、格局分析和模型模拟等方面,利用夜间灯光图像结合植被初级生产力,从大尺度上进行快速城市化过程的生态效应评价的量化研究还相对较少,同国外还存在明显的差距。继珠江三角洲和长江三角洲之后的中国第三大城市群——环渤海城市群地区^[16-17],在快速城市化过程中,区域生态环境变得也相对比较脆弱^[18-20]。如何利用遥感信息快速有效的量化,评价该区域快速城市化过程的生态环境效应,为进一步在全国范围内开展该方面的研究,具有非常好的代表性和针对性。

因此,本文以环渤海城市群地区为例,在利用 DMSP/OLS 数据对环渤海地区城市群 20 世纪 90 年代城市化空间过程重建,和系统分析其空间演化过程^[21]的基础上,借鉴 Imhoff 等人的研究思路^[8-10],把植被初级生产力的变化作为地区生态效应的一个主要评价指标,结合多种地理空间数据,基于 NDVI 指数,从土地利用变化的角度,探讨研究区内由于城市化过程带来的植被初级生产力年际内季节性变化规律,半量化研究城市化过程对区域内植被初级生产力的影响。目的是为进一步开展全国范围内更量化的快速城市化过程生态效应评价研究奠定基础。

2 研究区和数据

在具体研究中,环渤海城市群地区主要包括北京、天津、河北、辽宁、山东和山西 6 个省市,土地面积为 67.1 万 km²,2001 年人口总数为 2.56 亿^[22]。

具体使用的数据主要包括:

(1) 遥感数据

SPOT/VEGETATION 数据

由于 NDVI 能够相当准确地反映植被的绿度和光合作用强度,因此在区域和全球生态系统模型中,NDVI 常被直接或间接地用于植被初级生产力的计算^[23]。本文利用的 NDVI 数据为 1998 年 4 月至 1999 年 3 月的 10 天最大值合成 (MVC)^[24] 的 SPOT/

VEGETATION 数据 (<http://free.vgt.vit.be/>),空间分辨率为 1km,最终在 Arc/Info 中投影为兰勃特等积方位投影 (Lambert Azimuthal Equal Area Projection)。

DMSP/OLS 数据

美国军事气象卫星 DMSP 搭载的 OLS 传感器为大尺度的城市化研究提供了一种新的数据获取手段。由于其特殊的夜间成像功能和其与 AVHRR 相当的空间和时间分辨率,比较适合大尺度城市化进程的动态监测,国内外许多学者已成功地将 DMSP/OLS 数据应用于城市研究^[25-27]。本研究中 DMSP/OLS 数据主要来自于日本国立环境研究所提供的非辐射定标的夜间平均灯光强度数据产品,空间分辨率为 1km,时间为 1998 年^[25]。经几何校正、配准、投影变换处理,选取的投影方式及参数与 NDVI 相同。

DEM (Digital Elevation Model) 数据

1:100 万全国 DEM 数据,来源于美国地球资源观测系统 (Earth resource observation system; EROS) 数据中心,空间分辨率为 1km。经几何校正、配准、投影变换处理,选取的投影方式及参数与 NDVI 相同。

(2) 统计数据

所用的土地利用方面的统计数据主要来源于中国自然资源数据库 (<http://www.naturalresources.csdb.cn/index.asp>)、刘育成 (2000) 主编的《中国土地资源调查数据集》和国土资源部 2000 年发布的《中国国土资源年鉴》等。

(3) 气象数据

来源于中国气象局,时段对应于 NDVI 数据,为 1998 年 4 月至 1999 年 3 月,时间分辨率为月,数据内容为地表月平均温度,以及各气象站点的经度、纬度和海拔高度,共涉及 400 个左右的气象站点。

(4) 辅助数据

来源于北京师范大学资源学院,时段为 1994 年左右,空间分辨率为 1km 的 1:100 万《中国植被类型图》^[24],经 ARC/INFO 投影变换,投影同 NDVI 影像。

最后,DMSP/OLS 与 SPOT/VEGETATION 以及植被类型图等数据的配准精度均控制在 1 个像元以内。

3 方法

本文利用多元遥感和地理数据,结合信息提取和空间分析技术,对环渤海地区 20 世纪 90 年代城市化过程对不同植被类型的初级生产力所带来的影

响,进行了详细的分析和阐述。具体思路为:首先,利用夜间灯光图像提取环渤海地区城市群 1998 年城市空间分布特征;再者,从全国 1:100 万植被类型图上定义研究区土地覆盖类型;最后,利用由灯光数据提取的研究区 1998 年城市空间分布图作为模板,计算 1998—1999 年各土地覆盖类型城市地区和非城市地区的初级生产力,并进行相关的对比分析(图 1)。在计算过程中,由于遥感数据来自不同的数据源,研究区部分海陆边界不重叠,本文最终取其交集部分。

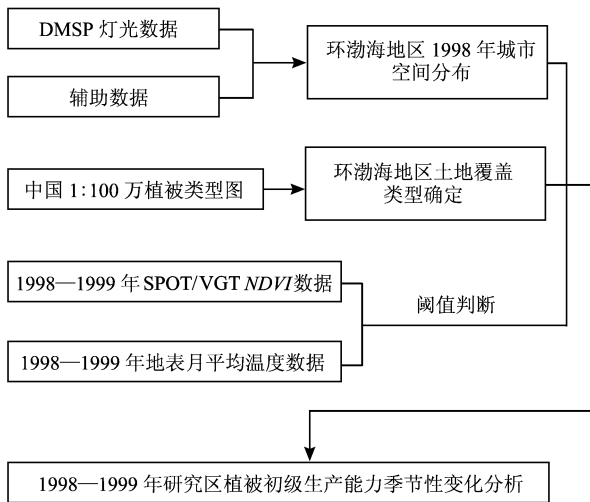


图 1 基于多源数据的环渤海地区城市化过程的生态影响研究流程图

Fig 1 Flow chart of the urbanization and its impact on ecosystem study using of multisource satellite and geospatial data in Bohai Rim

3 1 城市空间分布信息获取

当前众多遥感数据,由于时间和空间分辨率的限制,还不足以准确、可靠和及时地提供宏观大尺度的城市变化空间信息,使得目前的宏观大尺度研究还主要依赖于行政单元为基础的没有空间信息的社会经济统计数据^[28],因而难以满足中国宏观城市空间格局和变化过程研究的需要。同时,在中国,国土资源部几乎每年发布一次城镇用地的面积统计数据。如果能在这些城镇用地统计数据的基础上,利用 DMSP OLS 灯光数据恢复城市空间信息,无疑将极大地促进当前中国城市化空间过程的研究。鉴于此,本文采用一种以现有统计资料为基础,利用 DMSP OLS 夜间灯光遥感信息,快速从统计数据中恢复出空间信息,提取城镇用地空间信息,弥补现有

统计资料空间信息不足的新方法。具体的方法实现过程请参见文献[29],最终获取了研究区 1998 年的城市空间分布图(图 2)。最后,对比研究区各省市 1998 年 DMSP OLS 图像提取得到的城市面积与其统计值,两者之间的相对误差绝对值,被控制在 1% 以内。同时,利用部分地区的高分辨率 Landsat TM 提取的城市格局信息与灯光图像测量结果比较表明,二者在空间格局上也具有很强的相似性,相似度将近 80%^[29]。

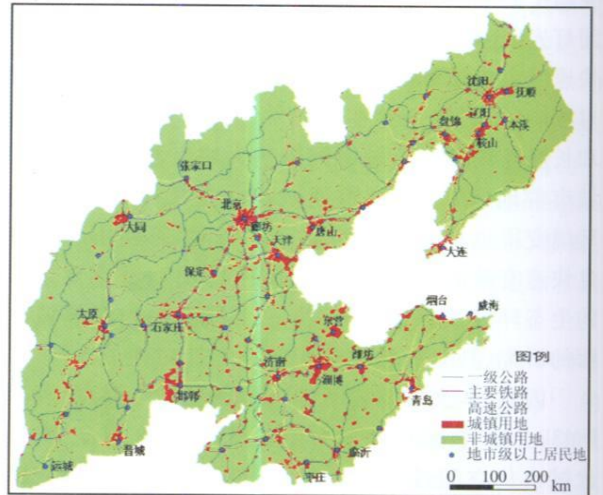


图 2 基于 DMSP/OLS 数据提取的 1998 年环渤海地区城市空间分布

Fig.2 The allocation of urban area extracted from DMSP/OLS image in the study area in 1998

3 2 土地覆盖类型定义

潘耀忠等人利用 1992 年 4 月—1993 年 3 月和 1995 年 2 月—1996 年 1 月两个完整生长季 1km 分辨率的 NOAA AVHRR NDVI 数据,根据植被-气候等综合指标进行分类得到的中国土地覆盖 1:100 万分类图,其一级分类结果(14 类)精度为 85.69%^[24]。由于其分类依据主要是植被类型,其中并未包含城市这种土地覆盖类型,因此用该图来定义 1998 年前研究区的土地覆盖类型是非常适合的。研究区的一级土地覆盖类型总共有 11 类:常绿针叶林、落叶针叶林、混交林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、灌丛、草地、沼泽、农田、裸地和水体(表 1,图 3)。在实际操作中,首先,从区域尺度对研究区包括所有土地覆盖类型在内的城市内外平均初级生产力变化进行分析,再分别将常绿针叶林、落叶针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林进行合并,最终选取了

表 1 研究区城市与非城市地区不同植被类型分布面积表

Table 1 The area of urban and non urban area for every vegetation type in Bohai Rim

植被类型	面积 /km ²		百分比 %	
	城市	非城市	城市	非城市
常绿针叶林	3690	46458	0.5512	6.9403
落叶针叶林	0	5	0.0000	0.0007
混交林	15	8141	0.0022	1.2162
常绿阔叶林	1535	7744	0.2293	1.1569
落叶阔叶林	924	66653	0.1380	9.8078
灌丛	7763	107697	1.1597	16.0886
草地	515	34206	0.0769	5.1100
沼泽	0	39	0.0000	0.0058
农田	39669	337492	5.9261	50.4172
裸地	245	1175	0.0366	0.1755
水体	768	5665	0.1147	0.8463

注: ①城市地区和非城市地区的划分以 DMSP OLS 数据提取的 1998 年城市分布图为准; ②百分比为各植被类型面积占研究区总面积的百分比。

针叶林 (I)、混交林 (II)、阔叶林 (III)、灌丛 (IV)、草地 (V)、农田 (VI) 6 种主要土地覆盖类型城市内外的平均初级生产力变化进行重点分析。

3.3 温度数据空间插值

利用地面气象站点的观测数据以及 DEM 高程数据, 采用中国自然资源数据库的“回归方程计算+残差”的方法 (<http://www.naturalresources.csdh.cn/index.asp>), 对全国 1998 年 4 月—1999 年 3 月的地面月平均温度进行空间插值。最终, 利用研究区的边界图, 在插值后的全国地表月平均温度图上提取研究区地表月平均温度图 (图 3(c))。经几何校正、配准、投影变换和重采样处理, 选取的投影方式、参数及空间分辨率与 NDVI 相同。

3.4 单位面积上植被平均初级生产力估算

植被初级生产力作为地表碳循环关键组成部分, 不仅是表征植被活动的重要变量, 而且是判定生态系统碳汇和调节生态过程的主要因子, 其已经成

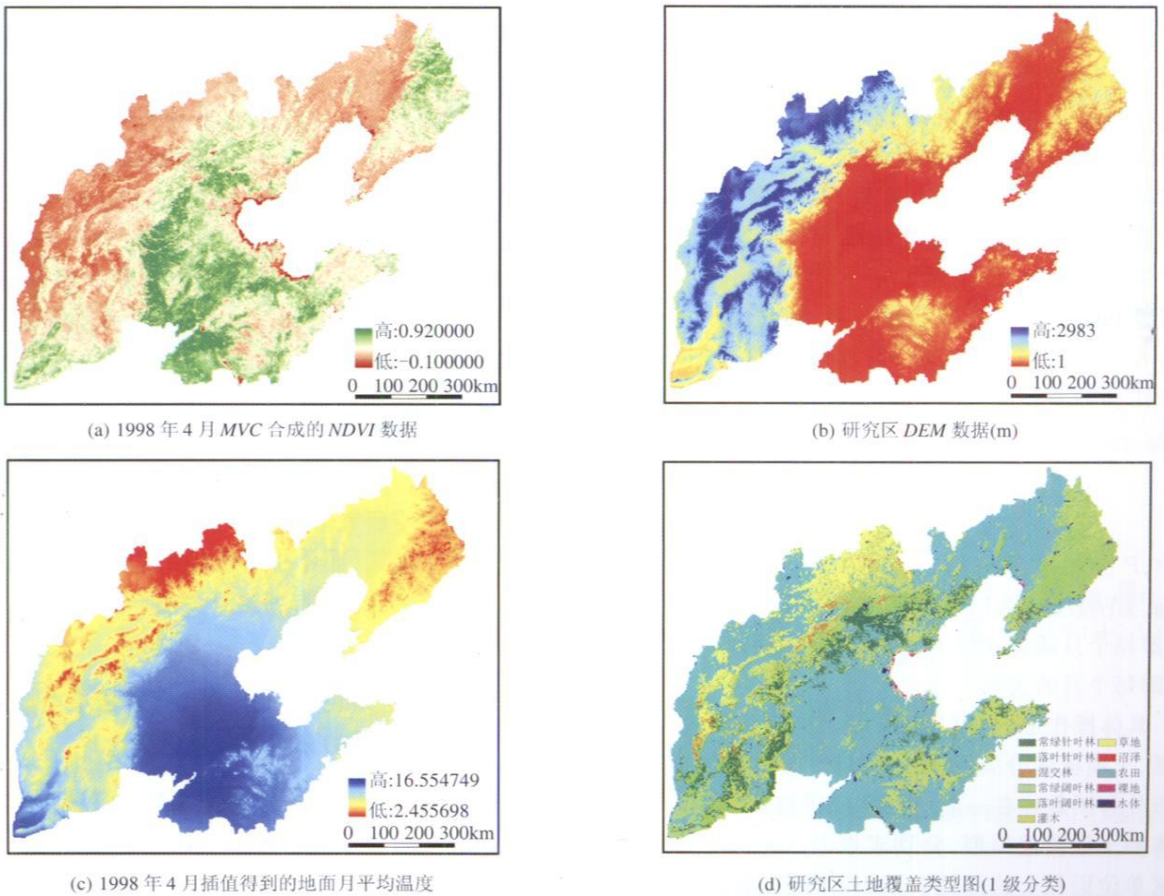


图 3 环渤海地区城市化生态影响评价所用数据

Fig. 3 The used data in evaluating the impact of urbanization to ecosystem in Bohai Rim

为表征生态系统结构和功能的一个重要指标^[30]。当前,对于植被初级生产力的表征以净第一性生产力为主,鉴于此,国内外许多学者采用不同方法对全球或区域净第一性生产力进行了估算,并且对土地利用以及气候变化对区域生态环境和净初级生产力的影响也进行了相关的研究^[31-36]。当前国内外用于 NPP 估算的模型主要有统计模型 (Statistical model)、参数模型 (Parameter model) 和过程模型 (Process based model) 三类,其中过程模型为机理模型,其他两种模型属于经验性或半经验性模型。在这些模型中,结合遥感资料较多的主要是光能利用模型 (参数模型) 和以 CASA 模型、TEM 模型、BDME-BGC 等为代表的过程模型。这些过程模型在 NPP 的计算上,虽然充分考虑了植被的 NPP 生成机理,但在实际当中,由于模型过程复杂、选取的参数较多等原因,使得最终的计算结果往往带有很大的不确定性。同时,在区域内 NPP 年际间的变化机制分析中,对于 NPP 的计算考虑的因子越多则问题的难度也就越大^[31]。

Prince 等人探讨各种影响因子对区域 NPP 遥感估算模型影响的研究表明,某一时间段内 $NDVI$ 累加和同实际观测到的该时间段内植被的 NPP 总量之间存在很强的线性相关性^[13-14]。依据这种相关性,肖乾广等人通过各植被类型一年内的 $NDVI$ 累加和同 NPP 之间的统计关系,对中国 1990 年的 NPP 进行了估算,并将最终结果同气候模型计算的 NPP 进行了比较,证明两者有一定的可比性^[37]。本文借鉴 Imhoff 和肖乾广等的思路,同时出于简化模型的考虑,以每个像元某一时间段内的 $NDVI$ 累加和来作为该像元该时间段内绿色植被的初级生产力。

$$P = \sum_{t=1}^n NDVI(t) dt \quad (1)$$

式中, P 为植被某一时间段内的生产力,单位为: d/km^2 ; $NDVI(t)$ 为时间间隔 t 内测得的植被 $NDVI$ 值,即每个月通过 MVC 合成的 $NDVI$ 值; t 为时间间隔,即每个月的天数。

具体操作中,利用 GIS 技术,首先,依次将 $NDVI$ 数据、土地覆盖分类图及由 DMSP OLS 数据提取的城市分布图叠加在一起;再者,依照植被类型图定义的各种土地覆盖类型,分别求取其在城市和非城市地区单位面积上的月最大 $NDVI$ 均值;接着,用各种土地覆盖类型城市和非城市地区每月最大 $NDVI$ 的均值乘以该月的天数,即求取积分,来得到该种土地

覆盖类型城市和非城市地区每月的近似初级生产力 (单位为: d/km^2); 最后,将全年的累加,即可得到该种土地覆盖类型城市和非城市地区全年的近似初级生产力^[8]。在具体的计算当中设定了两个阈值:一是温度阈值,利用上面插值得到的月平均温度图,来判断研究区各像元在某一个月上的平均温度是否小于等于 $0^\circ C$,如果小于等于 $0^\circ C$ 的话,则该像元该月的 $NDVI$ 值被设定为 0 因为在这个温度条件下,植被的光合作用基本停止;二是 $NDVI$ 阈值,如果研究区某一植被类型中某一像元在一个月内的最大 $NDVI$ 小于 0 则该像元在该月的 $NDVI$ 也设定为 0 因为该种情况下植被的光合作用也基本停止。

4 结果分析

4.1 城市化对研究区全部土地覆盖类型平均初级生产力影响的分析

首先,从全区的尺度计算了研究区 1998 年 4 月—1999 年 3 月包括所有土地覆盖类型在内的每月平均初级生产力 (表 2 表 3 图 4 图 5)。通过城市和非城市地区的对比发现,研究区平均初级生产力年际内变化规律为:城市和非城市地区平均初级生产力均在 1 月份最低,8 月份最高;4—11 月份城市地区的平均初级生产力低于非城市地区,而 12 月到次年 3 月份则是城市地区的平均初级生产力高于非城市地区。另外,研究区全年总的平均初级生产力,城市地区为 $110.23d/km^2$,而非城市地区为 $123.94d/km^2$,两者相差 $13.71d/km^2$ 。这可能主要是由于研究区城市化后城市内部主要为高反射的混凝土道路和建筑,而绿地的面积相对过少造成的。同时,通过四季的对比,研究区的平均初级生产力在夏季最强,秋季、春季依次递减,冬季最弱。另外,春、夏、秋三季研究区的平均初级生产力非城市地区均高于城市地区,而冬季则正好相反,城市地区要高于非城市地区,这可能主要是受城市热岛效应等因素影响造成的。

4.2 城市化对研究区 6 种主要土地覆盖类型初级生产力影响的分析

通过对 6 种主要土地覆盖类型每月城市与非城市地区初级生产力 (表 2 图 6 图 7) 对比分析发现,城市化过程对研究区 6 种主要土地覆盖类型年际初级生产力的影响主要表现为:

(1) 针叶林: 其平均初级生产力呈现出城市与

表 2 1998—1999 年研究区城市与非城市地区植被平均初级生产力分月对比
 Table 2 Mensal contacts of the mean NDVI based primary productivity of urban and non urban area in Bohai Rim in 1998—1999

类型	比较	1998年										1999年			
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	总计	
I	城市	13.59	16.70	13.24	18.64	20.33	17.75	12.01	11.40	6.87	2.42	5.55	6.76	145.26	
	非城市	12.17	18.40	16.88	20.72	21.71	19.17	13.70	10.65	6.05	1.55	5.21	6.34	152.55	
II	城市	8.15	17.67	18.15	19.18	19.82	18.18	14.09	8.75	0.53	0.00	0.00	4.17	128.70	
	非城市	11.40	22.21	22.09	23.46	23.76	21.88	16.07	10.19	0.42	0.02	0.24	5.26	156.99	
III	城市	10.89	14.87	13.07	15.82	16.88	15.23	11.94	9.12	5.27	3.28	3.73	4.37	124.47	
	非城市	12.97	21.44	20.31	21.95	22.94	21.04	17.34	10.28	2.11	1.02	1.72	3.31	156.42	
IV	城市	10.27	14.30	12.82	17.83	19.38	16.91	11.17	9.14	5.49	2.90	4.31	4.93	129.47	
	非城市	9.86	16.36	16.19	20.32	21.34	18.84	12.70	8.78	3.68	2.01	2.99	4.46	137.51	
V	城市	4.24	8.04	9.32	14.38	14.18	11.91	6.62	4.64	0.72	0.25	0.86	3.01	78.16	
	非城市	7.27	15.55	17.08	20.67	20.79	17.53	10.98	5.95	0.08	0.05	0.08	1.95	117.97	
VI	城市	10.52	13.41	11.19	16.77	18.63	16.13	10.12	8.72	6.08	4.11	4.48	5.29	125.44	
	非城市	10.36	13.56	12.00	18.17	20.11	17.08	10.04	8.28	5.25	3.64	3.85	5.26	127.63	
均值	城市	8.55	12.79	11.73	15.50	16.36	14.46	10.06	7.82	3.86	1.95	2.98	4.16	110.23	
	非城市	9.12	15.42	15.07	18.41	19.15	16.97	11.74	7.94	2.66	1.35	2.15	3.96	123.94	

注: ①均值为包括研究区所有土地覆盖类型在内的均值; ②城市地区和非城市地区的划分标准 同表 1; ③数据单位: d/km^2 。

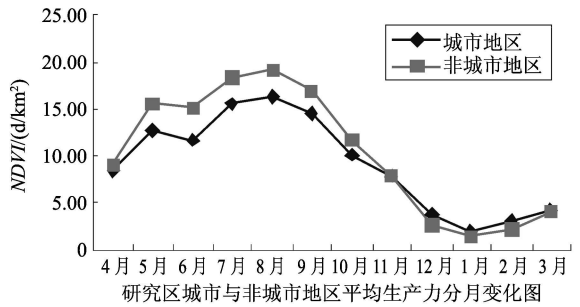
表 3 1998—1999 年城市与非城市地区植被平均初级生产力四季变化

Table 3 Seasonal changes of the mean NDVI based primary productivity of urban and non urban area in Bohai Rim in 1998—1999

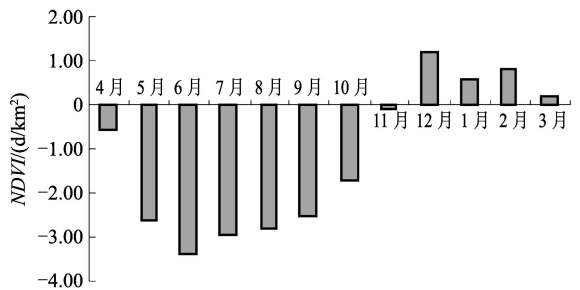
类型	比较	春季	夏季	秋季	冬季
I	城市	37.04	52.21	41.16	14.84
	非城市	36.91	59.32	43.52	12.81
II	城市	30.00	57.15	41.01	0.53
	非城市	38.87	69.30	48.14	0.68
III	城市	30.14	45.76	36.29	12.28
	非城市	37.72	65.20	48.65	4.85
IV	城市	29.51	50.04	37.22	12.70
	非城市	30.67	57.85	40.31	8.67
V	城市	15.28	37.89	23.16	1.83
	非城市	24.77	58.54	34.45	0.21
VI	城市	29.22	46.58	34.96	14.68
	非城市	29.19	50.29	35.41	12.74
均值	城市	25.50	43.59	32.34	8.79
	非城市	28.50	52.63	36.64	6.15

注: ①均值定义, 同表 2; ②城市地区和非城市地区的划分标准, 同表 1; ③数据单位: d/km^2 ; 同表 2; ④四季的划分采用气候学上的一般标准, 即 3—5、6—8、9—11、12—2月, 分别为春、夏、秋、冬。

非城市地区均在 1 月份最低, 8 月份最高; 5—10 月份城市地区低于非城市地区, 而 11 月到次年 4 月份



(a)



(b)

图 4 研究区城市与非城市地区平均初级生产力分月变化图
 Fig 4 Mensal changes of NDVI based primary productivity urban and no urban areas in Bohai Rim

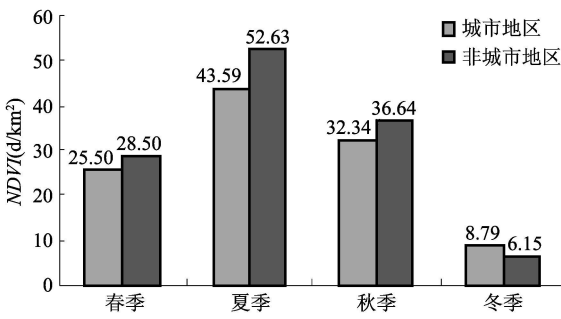


图 5 研究区城市与非城市地区平均初级生产力四季变化图
Fig. 5 Seasonal changes of NDVI based primary productivity urban and non urban areas in Bohai Rim

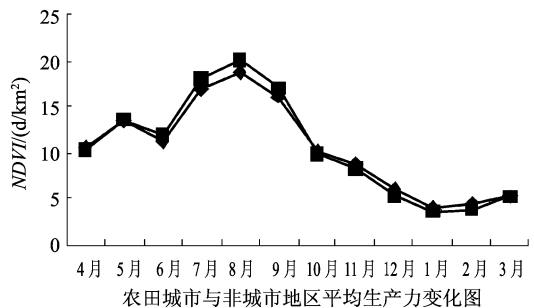
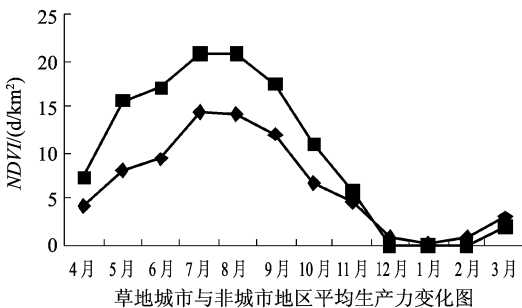
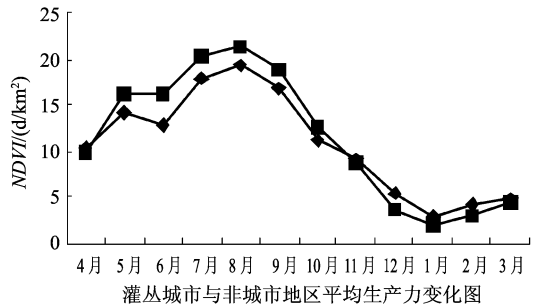
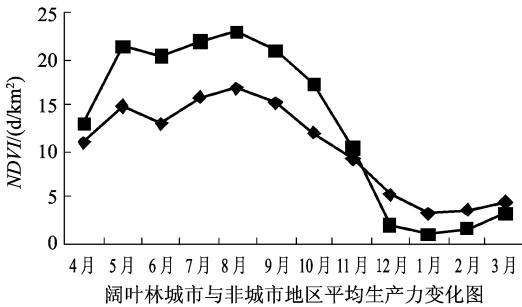
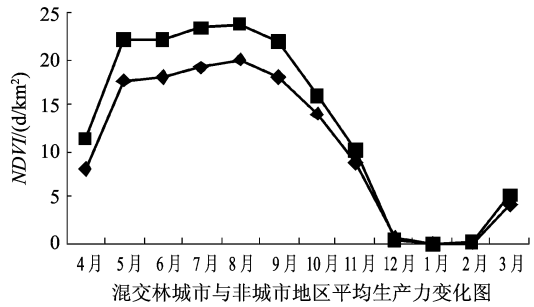
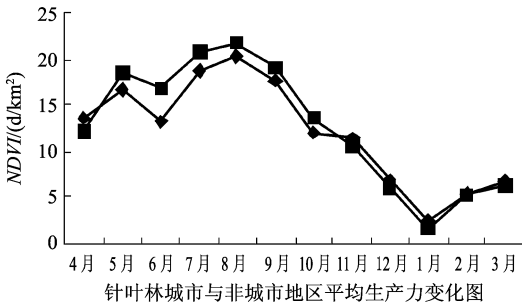
则是城市地区要高于非城市地区的特征。这可能主要是由于城市热岛效应, 或城市内冬季有更多常绿树种存在, 以及人为干预等因素的影响造成的。另外, 针叶林全年总平均初级生产力, 城市地区为 145.26d /km², 而非城市地区为 152.55d /km², 两者

相差 7.29d /km²。

(2) 混交林: 其平均初级生产力城市与非城市地区也均在 1 月份最低, 8 月份最高; 一个生长季内只有 12 月份城市地区高于非城市地区, 其余月份均表现为城市地区低于非城市地区, 城市热岛效应并不明显。另外, 混交林全年总平均初级生产力, 城市地区为 128.70d /km², 而非城市地区为 156.99d /km², 两者相差 28.29d /km²。

(3) 阔叶林: 其平均初级生产力也呈现出城市与非城市地区均在 1 月份最低, 8 月份最高的特征; 而在一个生长季内, 4—11 月份城市地区平均初级生产力低于非城市地区, 而 12 月到次年 3 月份则是城市地区平均初级生产力高于非城市地区, 城市热岛效应较为显著。另外, 阔叶林全年总平均初级生产力, 城市地区为 124.47d /km², 而非城市地区为 156.42d /km², 两者相差 31.95d /km²。

(4) 灌丛: 其平均初级生产力在城市与非城市



◆ 城市地区 ■ 非城市地区

图 6 研究区城市内外 6 种土地覆盖类型植被初级生产力分月变化图

Fig. 6 Mensal variations of NDVI based primary productivity for six land cover classes of urban and non urban areas in Bohai Rim

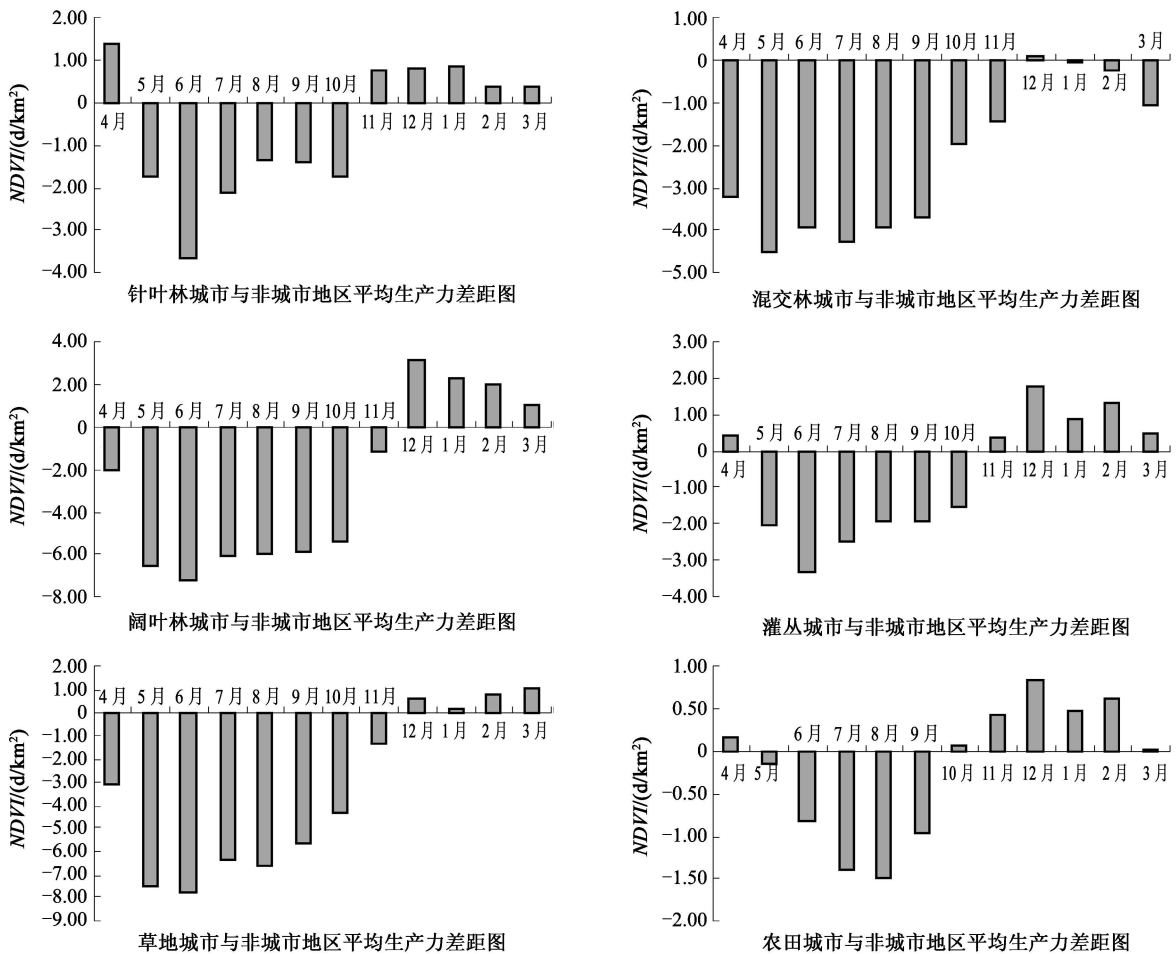


图 7 研究区城市与非城市地区 6 种土地覆盖类型植被初级生产力分月差距图

Fig 7 Mensal differences of NDVI based primary productivity for six land cover classes of urban and non urban areas in Bohai Rim

地区表现出的特征同针叶林一样,也均在 1 月份最低,8 月份最高;5—10 月份城市地区低于非城市地区,而 11 月到次年 4 月份则是城市地区要高于非城市地区。另外,全年总的平均初级生产力,城市地区为 129.47 d/km^2 ,而非城市地区为 137.51 d/km^2 ,两者相差 8.04 d/km^2 ,要略高于针叶林。

(5) 草地:其平均初级生产力在城市与非城市地区也在 1 月份最低,同森林和灌丛不一样的是其在 7 月份城市地区最高,而非城市地区在 8 月份达到最高,落后于城市地区一个月达到最高值;同阔叶林一样,其在 4—11 月份城市地区低于非城市,而在 12 月到次年 3 月份则是城市地区要高于非城市地区。另外,全年总的平均初级生产力,城市地区为 78.16 d/km^2 ,非城市地区为 117.97 d/km^2 ,两者相差 39.81 d/km^2 ,在 6 种土地覆盖类型中差距最大。

(6) 农田:其平均初级生产力在城市与非城市地区也在 1 月份最低,在 8 月份最高;而其在 5—9

月份城市地区低于非城市地区,而在 10 月到次年 4 月份则是城市地区要高于非城市地区,即平均初级生产力城市地区高于非城市地区的时间为 7 个月,已经超过了半年。这可能主要是由于农田作为人类活动影响最为剧烈的场所,其受城市热岛、人类管理措施等因素的影响造成的。另外,全年总的平均初级生产力,城市地区为 125.44 d/km^2 ,而非城市地区为 127.63 d/km^2 ,两者相差只有 2.19 d/km^2 ,不是特别的明显,在 6 种土地覆盖类型中差距最小。

总体上看,(1)研究区内 6 种主要土地覆盖类型全年总的平均初级生产力,从高到低依次为:针叶林、混交林、阔叶林、灌丛、农田和草地。其中,非城市地区混交林全年总的平均初级生产力最高,为 156.99 d/km^2 ;而城市地区草地全年总的平均初级生产力最低,只有 78.16 d/km^2 ,两者相差一倍以上。(2)研究区 6 种主要土地覆盖类型全年总的平均初级生产力均表现为城市地区低于非城市地区的特征,这与全区的

总体特征相一致。即可能主要是由于研究区城市化后城市内部主要为高反射的混凝土道路和建筑,而绿地的面积相对过少造成的。(3)研究区 6 种主要土地覆盖类型平均初级生产力一般是在 8 月份最高,而在 1 月份最低;同时,一个生长季内,各土地覆盖类型平均初级生产力总体呈现为 4—11 月城市地区低于非城市地区,而 12 月到次年 3 月则是城市地区要高于非城市地区的趋势。但这种趋势在各土地覆盖类型间也存在很大的不同,例如混交林只有在 12 月份城市地区的平均初级生产力高于非城市地区,而对于农田则从在 10 月份到次年 4 月份一直为城市地区高于非城市地区,即平均初级生产力城市地区高于非城市地区的时间高达 7 个月。这些可能主要是受城市热岛效应,土地覆盖类型内部的变化以及人类管理措施等因素影响造成的。

5 结 论

本文在利用 DMSP OLS 数据,对环渤海地区城市群 20 世纪 90 年代城市化空间过程重建,和系统分析其空间演化过程的基础上,借鉴 Imhoff 等人的研究思路,把植被初级生产力的变化作为地区生态效应的一个主要评价指标,结合多种地理空间数据,基于 *NDVI* 指数,从土地利用变化的角度,探讨环渤海城市群地区由于城市化过程带来的植被初级生产力年内季节性变化规律,半量化研究城市化过程对区域内植被初级生产力的影响。

通过城市与非城市地区各土地覆盖类型平均初级生产力的比较分析发现:(1)研究区全年总的平均初级生产力,总体表现为城市地区低于非城市地区的特征,这可能主要是由于研究区城市化后城市内部主要为高反射的混凝土道路和建筑,而绿地的面积相对过少造成的。(2)研究区平均初级生产力一般是在 8 月份最高,而在 1 月份最低;同时,一个生长季内,平均初级生产力总体呈现为 4—11 月城市地区低于非城市地区,而 12 月到次年 3 月则是城市地区要高于非城市地区的趋势,但这种趋势在各土地覆盖类型间也存在很大的不同。这些可能主要是受城市热岛效应,土地覆盖类型内部的变化,以及人类管理措施等因素影响造成的。(3)研究区全年总的平均初级生产力,城市地区为 $110.23 \text{d} / \text{km}^2$,而非城市地区为 $123.94 \text{d} / \text{km}^2$,两者相差 $13.71 \text{d} / \text{km}^2$,即城市化过程已经在一定程度上减弱了研究区的植被初级生产力。

同时也应该看到,本文的研究结果在以下几方面还存在着一定的不确定性。首先,对于城市与非城市地区土地覆盖类型的定义有待研究,根据中国目前城市的发展状况,城市化后城市内部土地覆盖类型仍然保持原有类型的可能性微乎其微,只单纯的利用植被类型图来定义,和实际情况存在很大差异。另外,对于评价模型的选取,由于文中采用的只是一种基于 *NDVI* 植被指数的半量化模型,对于城市化所造成研究区具体的生态损失并未给出确切的数值。因此,正确定义城市与非城市地区各土地覆盖类型和选取恰当的生态评价模型,同生态系统碳循环机制的有效结合,更为量化的评价城市扩展所造成的生态损失,将是此项工作今后进一步改进的地方。

但总体上讲,本文的研究思路和方法,还是提供了一种从宏观尺度上快速量化评价城市化生态效应的有效方法,为进一步开展全国范围内的快速城市化过程的生态效应评价研究奠定了基础。

参 考 文 献 (References)

- [1] Gu C L, Xu H X. Development of Urban Geography in China Since 1978 [J]. *Geographical Sciences* 1999 19(4): 320—331. [顾朝林,徐海贤.改革开放二十年来中国城市地理学研究进展[J].地理科学,1999 19(4): 320—331.]
- [2] Tian G J, Liu J Y, Xie Y G, et al. Analysis of Spatio-temporal Dynamic Pattern and Driving Forces of Urban Land in China in 1990s Using TM Images and GIS [J]. *Cities* 2005 22(6): 400—410
- [3] China Population Information and Research Centre. The Forecast of the Chinese Population Development in the Intending 50 Years [R], 1998. <http://www.cpic.org.cn> [中国人口信息研究中心.未来 50 年中国人口发展预测 [R], 1998.]
- [4] Wang J J, Yao X H, Li J R, et al. Assessment for Ecological Carrying Capacity of Heihe River Basin [J]. *Research of Environmental Sciences* 2000 13(2): 44—48 [王家骥,姚小红,李京荣等.黑河流域生态承载力估测[J].环境科学研究,2000 13(2): 44—48.]
- [5] Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, et al. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components [J]. *Science* 1998 281: 237—240.
- [6] Sun R, Zhu Q J. Net Primary Productivity of Terrestrial Vegetation: A Review on Related Researches [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* 1999 10(6): 757—760 [孙睿,朱启疆.陆地植被净第一性生产力的研究[J].应用生态学报,1999 10(6): 757—760.]
- [7] Liu S. International Research on Environmental and Ecological Consequence of Land Use and Land Cover Change [J]. *World Forestry Research* 2002 15(6): 38—45. [刘硕.国际土地利

- 用与土地覆盖变化对生态环境影响的研究[J]. 世界林业研究, 2002, 15(6): 38—45.]
- [8] Imhoff M L, Tucker C J, Lawrence W T, *et al*. The Use of Multisource Satellite and Geospatial Data to Study the Effect of Urbanization on Primary Productivity in the United States[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38(6): 2549—2556.
- [9] Milesi G, Elvidge C D, Namani R R, *et al*. Assessing the Impact of Urban Land Development on Net Primary Productivity in the Southeastern United States[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86: 401—410.
- [10] Imhoff M L, Bounoua L, Defries R, *et al*. The Consequences of Urban Land Transformation on Net Primary Productivity in the United States[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89: 434—443.
- [11] Galb K P, Tarpley J D, McNab A L, *et al*. Assessment of Urban Heat Islands: A Satellite Perspective[J]. *Atmospheric Research*, 1995, 37: 37—43.
- [12] Imhoff M L, Lawrence W T, Elvidge C D, *et al*. Using Nighttime DMSP/OLS Images of City Lights to Estimate the Impact of Urban Land Use on Soil Resources in the U. S. [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59: 105—117.
- [13] Prince S D. A Model of Regional Primary Production for Use with Coarse Resolution Satellite Data[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1991, 12: 1313—1330.
- [14] Gosse G, Varet G, Rancher G, Bonhomme R, *et al*. Production Maximale de Matière Sèche et Rayonnement Solaire Intercepté Par un Couvert Végétal[J]. *Agronomie*, 1986, 6: 47—56.
- [15] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D G, *et al*. A Technique for Using Composite DMSP/OLS ‘City Lights’ Satellite Data to Accurately Map Urban Areas [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 64: 261—370.
- [16] Du K X, Li S X. Some Problems to Economic Development Strategy in Bohai Rim[J]. *Geography and Territorial Research*, 1997, 13(1): 1—9. [杜可喜, 李善祥. 环渤海地区经济发展战略若干问题[J]. 地理学与国土研究, 1997, 13(1): 1—9.]
- [17] Li Z Q, Yang W Z, Lu X X. China Economic Geography[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2003. [李振泉, 杨万钟, 陆心贤. 中国经济地理[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2003.]
- [18] Zhu H Y, Li X B, He S J, *et al*. Spatio-temporal Change of Land Use in Bohai Rim[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 253—260. [朱会义, 李秀彬, 何书金等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 253—260.]
- [19] Mao H Y, Yu D L. Regional Carrying Capacity in Bohai Rim [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 363—371. [毛汉英, 余丹林. 环渤海地区区域承载力研究[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 363—371.]
- [20] Wang S H, Zhang P Y, Yang L P. Development of the Large and Medium-sized Cities in the Bohai Sea Coastal Zone[J]. *Scientific Geographica Sinica*, 1995, 15(1): 14—23. [王淑华, 张平宇, 杨莉萍. 环渤海滨海地带大中城市的发展[J]. 地理科学, 1995, 15(1): 14—23.]
- [21] He C Y, Li J G, Chen J, *et al*. The Urbanization Model and Process in Bohai Sea Surrounding Area in the 1990s by Using DMSP/OLS Data[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 409—417. [何春阳, 李景刚, 陈晋等. 基于夜间灯光数据的环渤海地区城市化过程[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 409—417.]
- [22] National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook—2001[M]. Beijing: China Statistics Press, 2002. [中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴—2001[M]. 北京: 中国统计出版社, 2002.]
- [23] Qi Y. The Effect of Climate Change on Vegetation at High Latitudes of the Northern Hemisphere: A Functional Analysis [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 474—478. [齐晔. 北半球高纬度地区气候变化对植被的影响途径和机制[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 474—478.]
- [24] Pan Y Z, Li X B, Gong B, *et al*. An Integrative Classification of Vegetation in China Based on NOAA AVHRR and Vegetation-climate Indices of the Holdridge Life Zone[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5): 1009—1027.
- [25] Chen J, Zhuo L, Shi P J, *et al*. The Study on Urbanization Process in China Based on DMSP/OLS Data: Development of a Light Index for Urbanization Level Estimation[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(3): 168—175. [陈晋, 卓莉, 史培军等. 基于 DMSP/OLS 数据的中国城市化过程研究——反映区域城市化水平的灯光指数的构建[J]. 遥感学报, 2003, 7(3): 168—175.]
- [26] Zhuo L, Shi P J, Chen J, *et al*. Application of Compounded Night Light Index Derived from DMSP/OLS DATA to Urbanization Analysis in China in the 1990s[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(9): 893—902. [卓莉, 史培军, 陈晋等. 20 世纪 90 年代中国城市时空变化特征——基于灯光指数 CNLI 方法的探讨[J]. 地理学报, 2003, 58(9): 893—902.]
- [27] Zhuo L, Chen J, Shi P J, *et al*. Modeling Population Density of China in 1998 Based on DMSP/OLS Nighttime Light Image[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 266—276. [卓莉, 陈晋, 史培军等. 基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 266—276.]
- [28] Zhou Y X. Suggestions Regarding the Clarification of the Concepts of China Urban Places and on the Statistical Criteria for the Urban Population[J]. *City Planning Review*, 1986, (3): 10—15. [周一星. 关于明确中国城镇概念和城镇人口统计口径的建议[J]. 城市规划, 1986, (3): 10—15.]
- [29] He C Y, Shi P J, Li J G, *et al*. Restoring Urbanization Process in China in the 1990s by Using Non-radiance-calibrated DMSP/OLS Nighttime Light Imagery and Statistical Data[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(7): 856—861. [何春阳, 史培军, 李景刚等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据和统计数据的中国 20 世纪 90 年代城市化空间过程重建研究[J]. 科学通报, 2006, 51(7): 856—861.]
- [30] Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, *et al*. Primary

- Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components [J]. *Science* 1998 281: 237—240
- [31] Ruimy A, Saugier B. Methodology for the Estimation of Terrestrial Net Primary Production from Remotely Sensed Data [J]. *Journal of Geophysical Research* 1994 99: 5263—5283.
- [32] Chen L J, Liu G H, Li H G. Estimating Net Primary Productivity of Terrestrial Vegetation in China Using Remote Sensing [J]. *Journal of Remote Sensing* 2002 6(2): 129—135 [陈利军, 刘高焕, 励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测 [J]. 遥感学报, 2002 6(2): 129—135.]
- [33] Sun R, Zhu Q J. Distribution and Seasonal Change of Net Primary Productivity in China from April 1992 to March 1993 [J]. *Acta Geographica Sinica* 2000 55(1): 36—45 [孙睿, 朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究 [J]. 地理学报, 2000 55(1): 36—45.]
- [34] Piao S L, Fang J Y. Seasonal Changes in Vegetation Activity in Response to Climate Changes in China between 1982 and 1999 [J]. *Acta Geographica Sinica* 2003 58(1): 119—125. [朴世龙, 方精云. 1982—1999年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异 [J]. 地理学报, 2003 58(1): 119—125.]
- [35] Gao Z Q, Liu J Y, Cao M K, *et al*. Impacts of Land Use and Climate Change on Regional Net Primary Productivity [J]. *Acta Geographica Sinica* 2004 59(4): 581—591 [高志强, 刘纪远, 曹明奎等. 土地利用和气候变化对区域净初级生产力的影响 [J]. 地理学报, 2004 59(4): 581—591.]
- [36] Zhou T, Shi P J, Sun R, *et al*. The Impacts of Climate Change on Net Ecosystem Production [J]. *Acta Geographica Sinica* 2004 59(3): 357—365 [周涛, 史培军, 孙睿等. 气候变化对净生态系统生产力的影响 [J]. 地理学报, 2004 59(3): 357—365]
- [37] Xiao Q G, Chen W Y, Sheng Y W, *et al*. Estimating the Net Primary Productivity in China Using Meteorological Satellite Data [J]. *Acta Botanica Sinica* 1996 38(1): 35—39 [肖乾广, 陈维英, 盛永伟等. 用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的第一性净生产力 [J]. 植物学报, 1996 38(1): 35—39.]