

DOI: 10.5846/stxb201406061164

陈探, 刘森, 胡远满, 吕久俊, 马俊, 孙风云, 宫继萍. 沈阳经济区土地利用变化及净初级生产力变化研究. 生态学报, 2015, 35(24): - .

Chen T, Liu M, Hu Y M, Lu J J, Ma J, Sun F Y, Gong J P. Land use and net primary productivity changes in Shenyang Metropolitan Area. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(24): - .

沈阳经济区土地利用变化及净初级生产力变化研究

陈 探^{1,2}, 刘 森^{1,*}, 胡远满¹, 吕久俊³, 马 俊^{1,2}, 孙风云^{1,2}, 宫继萍^{1,2}

1 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016

2 中国科学院大学, 北京 110049

3 辽宁省环境科学研究院, 沈阳 110161

摘要: 本文分析了沈阳经济区 2000 到 2010 年土地利用变化情况。基于 CASA (Carnegie-Ames-Stanford Approach) 模型估算 2000 年、2005 年、2010 年沈阳经济区净初级生产力 (Net Primary Productivity), 从行政区划和地类角度分析其时空变化, 统计了不同地类转换模式下 NPP 的损益值, 从土地利用变化探讨了沈阳经济区土地利用变化带来的 NPP 变化情况。结果表明: (1) 农田、林地和城镇用地为研究区最主要土地利用类型。土地利用最显著变化是城镇用地扩张迅速, 农田面积大量减少。林地面积有所减少, 草地、湿地、裸地面积变化较小; (2) 沈阳经济区 NPP 呈明显退化趋势, 并且时空变化显著, 2000 到 2005 退化幅度大于 2005 到 2010 年退化。除了阜新市有增加, 其他市的 NPP 均为减少; (3) 沈阳经济区六种土地利用类型的平均 NPP 都在下降, 降幅最大的是林地。NPP 损益分析表明农田转城镇带来的年均 NPP 损失最大。

关键词: 土地利用变化; NPP; 沈阳经济区

Land use and net primary productivity changes in Shenyang Metropolitan Area

CHEN Tan^{1,2}, LIU Miao^{1,*}, HU Yuanman¹, LV JiuJun³, MA Jun^{1,2}, SUN Fengyun^{1,2}, GONG Jiping^{1,2}

1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

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

3 Liaoning Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110161, China

Abstract: In recent decades, urban areas in China have been rapidly increasing. This urban area expansion has caused land use changes, which have enormous influences on regional ecosystems. The potential environmental problems caused by urban expansion have attracted extensive attention from researchers. Net primary productivity (NPP) is the amount of solar energy converted to chemical energy through the process of photosynthesis. NPP loss may affect the composition of the atmosphere, fresh water availability, biodiversity, and the ecological adjusting mechanism of energy supply and distribution. Moreover, NPP is also an important ecosystem productivity indicator. Hence, studying the impact of land use changes, caused by urban expansion, on NPP is crucial to understanding ecosystem structure and function changes. In recent years, Shenyang Metropolitan Area has experienced rapid economic growth and industrial development under the guidance of the central government policy and local government strategy. As a result, urban area expansion of Shenyang Metropolitan Area has also accelerated, resulting in significant land use changes. The 10 years from 2000 to 2010 were representative of the process of Shenyang Metropolitan Area's urban expansion. This study analyzed land use changes with Shenyang Metropolitan Area from 2000 to 2010. Six categories of land use types were interpreted from Landsat TM/ETM remote sensing images: forestland, farmland, urban area, grassland, wetland, and bare land. NPP changes in the study area were estimated

基金项目: 自然科学基金 (41171155); 辽宁省生态环境十年 (2000—2010 年) 变化遥感调查与评估课题

收稿日期: 2014-06-06; **网络出版日期:** 2015- -

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

through the CASA model. The spatial and temporal dynamics of NPP were studied in regional and land use categorical scales. There is little prior research investigating this change trajectory of NPP under different land-use conversion types. The change of NPP caused by urban expansion of Shenyang Metropolitan Area was analyzed. The results showed: (1) Farmland, forestland, and urban areas were the main land use types within the study area. Rapid urban expansion and loss of farmland were the predominant land use changes. While the area of forestland decreased, grassland, wetland, and bare land area changed only slightly. The demand for land for urban construction was greater in 2005—2010 than the demand in 2000—2005; (2) The NPP of the study area decreased, and changed greatly both in spatial and temporal scales. The NPP decreased more rapidly in 2000—2005 than it did in 2005—2010. The NPP decreased in all of Shenyang Metropolitan Area, except for Fuxin City. The highest values of NPP reduction were in the eastern part of Shenyang Metropolitan Area and the lowest values were located in the northwest region of Shenyang Metropolitan Area; (3) The mean NPP in the six land use types declined. Forestland declined most rapidly and the conversion of farmland to urban area had the largest annual NPP loss. From 2000 to 2005, annual NPP loss from the conversion of farmland to urban area was 21886.68 tons/year. However, from 2005 to 2010, NPP declined to 7003.61 tons/year from the conversion of farmland to urban area. NPP loss was relatively high in the following conversion modes: forestland-farmland, forestland-urban area, and farmland-wetland. However, increases in NPP were observed in the conversions of wetland-grassland, wetland-bare land, and bare land-grassland.

Key Words: LUCC; NPP; Shenyang Metropolitan Area

陆地生态系统的研究表明,地球表面将近一半的土地由于人类活动发生了改变^[1]。Defries^[2]等研究表明,由于过去两个世纪的土地利用变化,全球生态系统的潜在光合作用能力下降了 5%。人们已经开始更多的关注由于城市扩展引起的潜在环境问题^[3]。土地利用变化对生态系统有极大的影响,改变生态系统的组分和结构^[4],进而影响了自然生态系统的物质和能量循环^[5-7]。在土地利用中,城市土地利用明显降低了森林生态系统的光合作用^[8]。城市用地占据了最肥沃和最多产的土地,直接造成了森林的消失、草地和农田的减少^[9, 10],进而大大减少了生态系统的生产力。因此,合理的土地利用规划对维持陆地生态系统的原始功能具有明显的意义。

植被是陆地生物圈的主体,它不仅在全球物质与能量循环中起着重要作用,而且在调节全球碳平衡、减缓大气中 CO₂ 等温室气体浓度上升以及维护全球气候稳定等方面具有不可替代的作用。植被净第一性生产力 (NPP) 指绿色植物在单位时间单位面积上所积累的有机干物质总量,它不仅是表征植物活动的重要变量,而且是判定生态系统碳汇和调节生态过程的主要因子^[11]。它是陆地生态系统碳循环的一个重要分量,是全球碳循环的重要组成部分和关键环节,在全球碳平衡中扮演重要角色^[12]。NPP 也是估算地球支撑能力和评价陆地生态系统可持续发展的一个重要指标^[13, 14]。陆地生态系统 NPP 的变化直接反映了全球气候变化和人类活动对植被的影响,同时 NPP 的变化又极大地影响到全球碳循环和全球气候^[11, 15]。研究城市化对 NPP 的影响对理解生态系统结构和功能的变化以及对预测未来全球碳循环的趋势都有重要的意义。

国外研究土地利用变化对 NPP 的影响主要是立足于城市化角度,进行大尺度的研究。Milesi 等^[16]利用 MODIS 数据、土地覆盖图和夜灯影像估算了美国东南部城市发展及其对 NPP 的影响;Imhoff 等人^[17]利用夜灯影像描述了美国城市化面积的范围和空间分布并将 NDVI 数据代入 CASA 模型反演得到 NPP 数据,最后评估了城市化对 NPP 的影响。Yu 等^[18]以深圳市为例分析了城市土地利用对 NPP 的影响;刘军会和高吉喜^[19]利用光能利用率模型分析了北方农牧交错带 1986 年—2000 年植被净初级生产力 (NPP) 的时空变化,并分析了气候和土地利用变化对 NPP 变化的影响。然而国内外大多数研究主要集中在不同土地利用类型与 NPP 的变化响应,很少有学者分析不同土地利用转化方式对 NPP 的影响。

沈阳经济区人口密集,经济发展迅速,城市化进程快,土地利用变化明显,适合土地利用变化与 NPP 变化

的研究,但是目前对沈阳经济区不同土地利用转化方式对 NPP 影响的研究很少。因此,本研究将利用 CASA 模型估算 2000 年、2005 年、2010 年沈阳经济区 NPP,从区域和地类尺度分析其时空变化,统计不同地类转换模式下 NPP 的损益值,从土地利用变化探讨分析沈阳经济区城市扩展带来的 NPP 变化情况,可望为沈阳经济区低碳城市与可持续发展提供科学依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

沈阳经济区($39^{\circ}55'N-43^{\circ}29'N$, $121^{\circ}1'E-125^{\circ}47'E$)位于中国东北地区南部,辽宁省中部。以沈阳为中心,涵盖了沈阳、鞍山、抚顺、本溪、营口、阜新、辽阳、铁岭 8 个省辖市,区域面积 7.5 万 km^2 ,总人口 2359 万人。城市化率达到 65%,是我国城市化水平最高的地区之一^[20]。研究区属大陆性季风气候,雨热同季、全年日照丰富;地势自北向南,由东向西倾斜;西部为广阔的辽河平原;近年来,在中央“振兴东北老工业基地”政策和地方政府“工业立市”战略的指引下,沈阳经济高速增长、工业大发展的同时,沈阳经济区的城市化进程也在加快,土地利用发生显著变化。

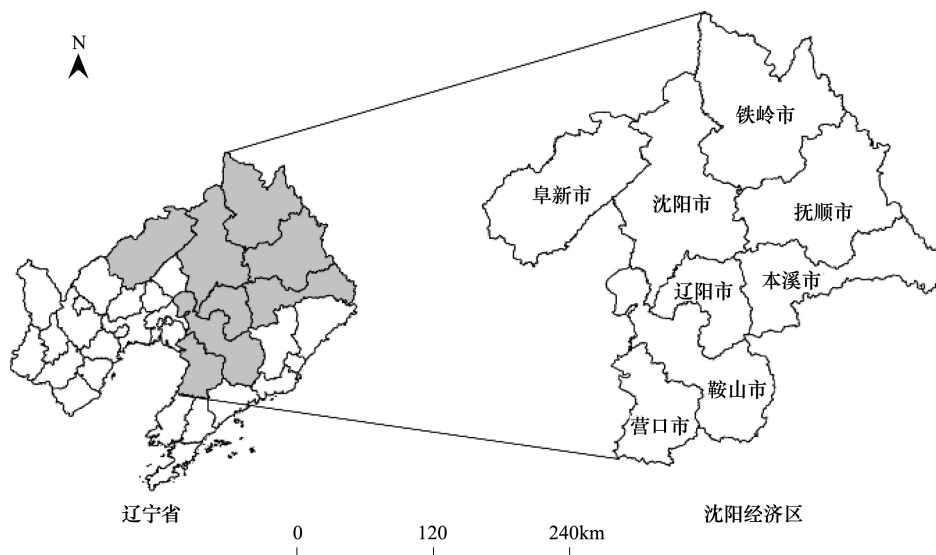


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of study area

1.2 数据来源与处理

气象数据:气象数据来源于中国气象局国家气象信息中心制作的“中国地面气候资料月值数据集”,数据集为中国 752 个基本、基准地面气象观测站及自动站 1952—2012 年气候资料月值数据集,该数据集内容包括本研究所需要的平均气温、日照时数、日照百分率、蒸发皿蒸散量。本研究从中选取了辽宁区域范围内的 27 个气象站数据进行模型计算。

土地利用数据:土地利用数据来自辽宁省生态环境十年(2000—2010)课题。同时,选用 2000 年 8 月、2005 年 8 月和 2010 年 8 月 3 期的 Landsat TM/ETM 遥感影像(分辨率为 30 米)对 2000、2005 和 2010 年的沈阳经济区土地利用数据进行人工目视纠错。2013 年 4 月到 7 月实地采集的 368 个样点数据,记录空间位置和当时土地利用信息,并向本地居民询问 2000、2005 和 2010 年土地利用信息。样点中 180 个参与土地利用数据纠错,余下的 188 个对解译和纠错后的土地利用图进行了精度评价。2000 年精度为 89.50%;2005 年为 91.28%;2010 年为 93.48%。本研究参考全国土地分类的 I 级分类标准,将研究区划分为林地、草地、湿地、农田、城镇用地、裸地共 6 类(见图 2)。

NPP 数据:从 nasa(<http://reverb.echo.nasa.gov/>)网站上下载的 250 m 分辨率的 Modis NDVI 产品旬数据,

共 108 旬。然后通过 casa 模型进行 NPP 估算得到 NPP 数据。

空间分辨率匹配:研究过程中,为保持空间精度的一致性,将所有栅格数据空间重采样至 30 米分辨率进行后期的处理与分析。

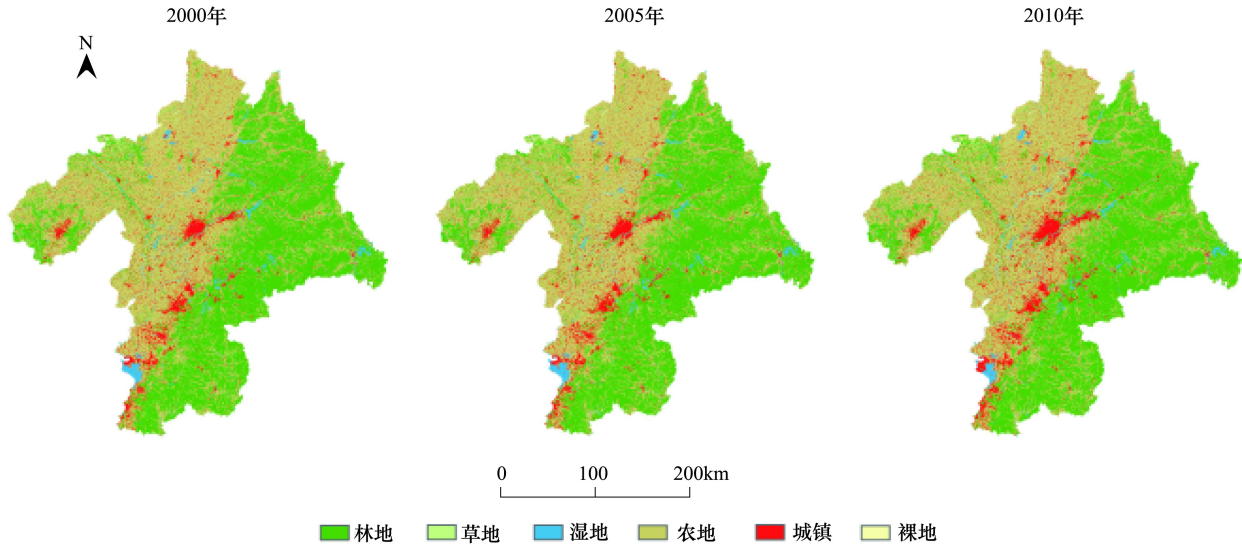


图 2 2000、2005 和 2010 年沈阳经济区土地利用示意图

Fig. 2 Land use map of Shenyang Metropolitan Area in 2002, 2007 and 2011

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用转移矩阵

土地利用变化的过程通过不同土地利用类型间保持与转移来衡量。利用不同时期的土地利用图进行空间叠加,求出土地利用类型的转移矩阵。转移矩阵常被研究者^[21-23]用来描述了土地利用类型之间的转变。

1.3.2 NPP 估算

NPP 的估算模型分为统计模型、参数模型和过程模型。Carnegie-Ames-Stanford Approach 模型(CASA)是如今应用较广泛、精度较高的基于过程的参数模型^[24, 25],其核心思想是净第一性生产力(NPP)主要由植被所吸收的光合有效辐射(APAR)和光能利用率(ε)两个变量决定^[26, 27]。基本表达式为:

$$NPP = APAR(t) \times \varepsilon(t) \quad (1)$$

其中,

$$APAR = fPAR \times PAR \quad (2)$$

参数 1: PAR : 入射光合有效辐射。从资料文档、气象数据中得到太阳总辐射量、及日照时数等信息,然后结合研究区中像元经纬度计算得到 PAR 。

参数 2: $fPAR$: 植被层对入射光合有效辐射的吸收比例。利用 MODIS $NDVI$ 产品计算得到比值指数 SR , 然后通过 $fPAR$ 与比值指数 SR 之间存在关系,得到 $fPAR$ 。具体公式如下:

$$FPAR = \frac{(SR - SR_{min}) \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{SR_{max} - SR_{min}} + FPAR_{min} \quad (3)$$

$$SR = \frac{NIR}{RED} = \frac{1 + NDVI}{1 - NDVI} \quad (4)$$

公式 3 中, $FPAR_{min}$ 和 $FPAR_{max}$ 的取值与植被类型无关,分别取值为 0.001 和 0.95^[28], SR_{min} 和 SR_{max} 与植被类型有关,为对应植被类型 $NDVI$ 的 5% 和 95% 的下侧百分位数。 NIR 和 RED 分别表示近红外波段和红波段的反射率。

参数 3: ε 指植被将吸收的光合有效辐射($APAR$)通过光合作用转化为有机碳的效率,其获取方法如下:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon^* \times T_1(t) \times T_2(t) \times W(t) \quad (5)$$

式中, ε^* 指的是理想状态下的最大光能转化率(单位: g/MJ), 通常认为全球植被的最大光能转化率为(以 C 计) $0.389 \text{ g/MJ}^{[29]}$, T_1 和 T_2 表示环境温度对光利用的抑制影响, W 则为水分影响胁迫系数。 T_1 和 T_2 及 W 均为无量纲参数。其中 T_1 和 T_2 及 W 分别由下面公式计算获得。

$$T_1 = -0.0005(T_{opt} - 20)^2 + 1 \quad (6)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \exp\{0.2(T_{opt} - 10 - T_{mon})\}} \times \frac{1}{1 + \exp\{0.3(-T_{opt} - 10 + T_{mon})\}} \quad (7)$$

式中, T_{opt} 表示植被生长季内 $NDVI$ 值达到最高时的月平均气温(单位: $^{\circ}\text{C}$), T_{mon} 表示月平均气温(单位: $^{\circ}\text{C}$)。

$$W(t) = \frac{EET(t)}{PET(t)} \quad (8)$$

式中, EET 表示区域月实际蒸散量(单位: mm), PET 表示区域月潜在蒸散量(单位: mm)。

1.3.3 LUCC 与 NPP 的空间分析

利用 ARCGIS 空间分析的区域统计功能, 统计三个年份不同土地利用类型对应的 NPP。基于 ARCGIS 的叠加分析功能, 将 LUCC 图和 NPP 变化图进行叠加, 并用 LUCC 图对 NPP 变化图进行区域统计, 得到不同土地类型转化下的 NPP 变化情况。

2 结果与分析

2.1 沈阳经济区的土地利用变化

利用三期沈阳经济区土地利用图叠加统计得到 2000 到 2010 年间土地利用变化情况, 农田、林地和城镇用地为研究区中 3 种最主要类型(图 3) 农田和城镇的面积发生了明显的变化, 农田主要是转出到城镇用地, 林地面积总体变化很小, 湿地既有转出又有转入, 裸地和草地也有相对较小的转入(表 1、图 4): 2000—2005 年, 沈阳经济区土地利用转移的总面积为 468.55 km^2 , 占研究区土地利用总面积的 0.62%。其中, 农田转移面积最多, 主要转为城镇, 转移面积为 337.16 km^2 , 占农田总转移面积的 84.54%。城镇总转移面积最少, 均转移为裸地; 2005—2010 年, 沈阳经济区土地利用转移的总面积为 998.98 km^2 , 占研究区土地利用总面积的 0.67%。

其中农田转移面积最多, 主要转为城镇, 转移面积为 736.9 km^2 , 占农田总转移面积的 84.55%。草地总转移面积最少, 为 1.64 km^2 , 转移为城镇和林地; 2000—2010 年, 沈阳经济区土地利用转移的总面积为 1462.21 km^2 , 占研究区土地利用总面积的 1.96%。其中农田转移面积最多, 主要转为城镇, 转移面积为 1073.88 km^2 , 占农田总转移面积的 84.69%。草地总转移面积最少, 为 2.05 km^2 , 转移为城镇和林地。从空间分布上看, 沈阳经济区土地利用变化主要发生在经济区中部, 主要是由于经济发展驱动下城市扩张对建设用地需求较大, 导致土地利用向城镇转换, 而且这十年间后五年的城市扩张较前五年要更加迅猛。这一现象尤为体现在城中村的改造过程中, 大量的农田用地转换为城镇用地。

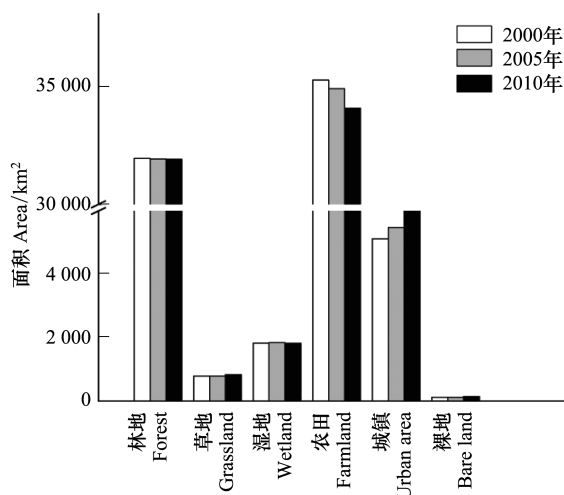


图 3 2000、2005 和 2010 年土地利用类型面积统计
Fig. 3 The area of land use types in 2000, 2005 和 2010

表 1 沈阳经济区土地利用变化转移面积矩阵/(km²)

Table 1 Land use transition metric in Shenyang Metropolitan Area							
年份 Year	土地利用类型 Land use type	林地 Forest	草地 Grassland	湿地 Wetland	农田 Farmland	城镇 Urban area	裸地 Bare land
2000—2005	林地	31911	0.09	0.35	25.19	17.9	0.41
	草地	0.4	793.53	0.01	0.02	0.02	0
	湿地	1.18	0.01	1810.99	13.55	8.65	0.41
	农田	18.88	5.96	6.01	34887.29	337.16	2.03
	城镇	0.03	0.01	0.01	0.08	5116.13	0.03
	裸地	0.03	0	0.27	0.37	0.72	126.69
2005—2010	林地	31903.97	0.02	2.78	21.43	3.29	0.06
	草地	1.57	797.96	0	0.01	0.06	0
	湿地	0.77	2.38	1758.94	11.96	67.86	4.99
	农田	15.4	35.34	31.9	34056.76	736.9	19.09
	城镇	0.79	1.11	0.82	1.95	5475.6	0.4
	裸地	0.1	2.98	1.39	0.44	2.08	122.88
2000—2010	林地	31883.82	0.06	3.12	45.42	22.04	0.47
	草地	1.94	791.94	0.01	0.02	0.08	0
	湿地	1.88	2.25	1724.84	24.82	75.79	5.22
	农田	34	41.45	36.54	34019.88	1073.88	20.95
	城镇	0.8	1.11	0.82	1.7	5111.43	0.42
	裸地	0.13	2.97	1.73	0.72	2.48	120.03

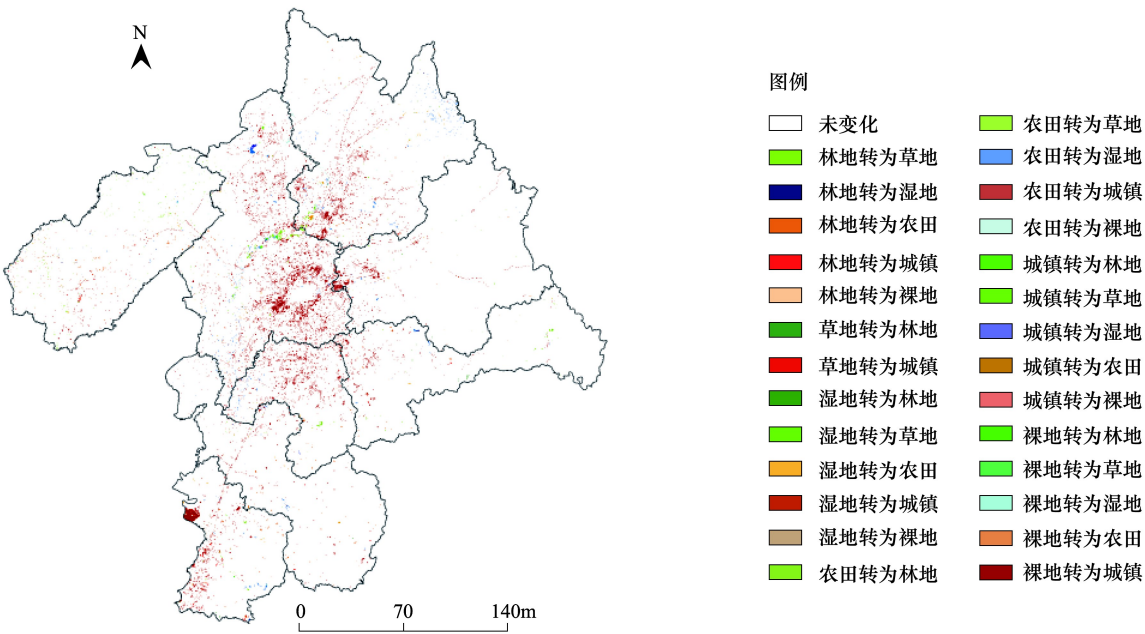


图 4 沈阳经济区 2000 到 2010 年土地利用转换图

Fig. 4 Land use transition map in Shenyang Metropolitan Area from 2000 to 2010

2.2 沈阳经济区 NPP 的时空变化

基于 CASA 模型,分别测算出沈阳经济区 2000 年、2005 年和 2010 年三个不同时相的 NPP 空间分布(图 5)。2000 年沈阳经济区 NPP 平均为 2759.53 g/m²,2005 年减至 2444.72 g/m²,2010 年缩减到 2377.31 g/m²,十年间土地净第一性生产力退化比较明显,前五年退化的速度比后五年要迅速。根据经济区内不同城市的 NPP(表 3)及三个年份经济区的 NPP 空间分布(图 5)可以发现:三个年份中,沈阳经济区东部片区的 NPP 较

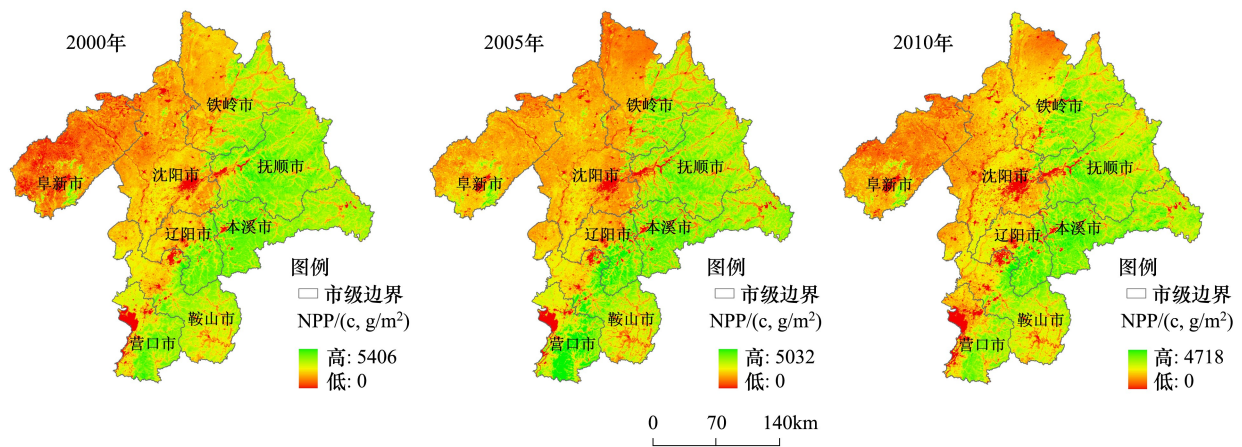


图 5 2000 年 (a)、2005 年 (b)、2010 年 (c) 沈阳经济区 NPP(Net Primary Productivity) 空间分布格局
Fig. 5 Maps of NPP in 2002, 2007 and 2011

高,西部较低。2000 年,本溪市的 NPP 均值最高为 3462.41 g/m^2 ,最小的是阜新市为 1844.71 g/m^2 ;2005 年,NPP 均值最大的为本溪市 2944.19 g/m^2 ,较 2000 年减少了 518.22 g/m^2 ,沈阳市最小;2010 年,本溪市的 NPP 仍为经济区内均值最大,为 2878.25 g/m^2 ,较 2005 年相比降幅很小,NPP 最小为阜新市 1875.4 g/m^2 。

为了进一步发掘近十年 NPP 的时空演替,分别用 2000 年 NPP 分布图减去 2005 年分布图、2005 年减去 2010 年、2000 年减去 2010 年。并按不同城市统计 NPP 变化的平均值(表 2):2000 年至 2005 年期间除了阜新市,其它城市的 NPP 均值都在减少。2005 年至 2010 年间,沈阳和铁岭的 NPP 在增加,其余的都在减少。纵观十年间,沈阳经济区内只有阜新市的 NPP 均值在增加,其余 7 座城市都在降少,其中抚顺市减少的最多,为 703.49 g/m^2 。

表 2 不同城市 2000 到 2010NPP(Net Primary Productivity) 变化平均值(单位: g/m^2)

城市 City	2000—2005	2005—2010	2000—2010
沈阳	-240.35	66.50	-173.85
抚顺	-595.42	-108.07	-703.49
本溪	-518.22	-65.94	-584.16
营口	-115.24	-545.82	-661.06
辽阳	-365.96	-50.87	-416.82
铁岭	-434.86	124.97	-309.89
阜新	181.22	-150.53	30.69
鞍山	-364.06	-118.23	-482.29

标“-”表示 NPP 减少,相反,未标表示 NPP 增加。

表 3 不同城市的 NPP 统计特征(g/m^2)
Table 3 NPP statistical features in different cities

城市 City	2000 年			2005 年			2010 年		
	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值±标准差 Mean±Std	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值±标准差 Mean±Std	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值±标准差 Mean±Std
沈阳	0	4636	2213.37±473.22	56	4060	1973.02±365.64	1	4385	2039.52±397.07
抚顺	5	5406	3444.14±595.24	71	4411	2848.72±574.19	1	4633	2740.65±474.75
本溪	106	5074	3462.41±581.77	45	4496	2944.19±599.08	51	4481	2878.25±483.13
营口	0	4614	2957±975.59	0	5032	2841.76±998.92	0	3969	2295.95±775.72
辽阳	42	5130	3015.17±779.96	21	4641	2649.21±753.94	33	4718	2598.34±608.42
铁岭	0	4942	2725.38±634.24	0	4485	2290.53±642.49	7	4606	2415.49±504.59
阜新	0	4660	1844.71±499.97	89	4429	2025.93±368.25	7	3894	1875.4±339.79
鞍山	120	5164	2870.74±610.59	140	4823	2506.68±598.83	64	4676	2388.45±499.68

2.3 沈阳经济区土地利用变化对 NPP 的影响

2.3.1 不同土地利用类型的 NPP 变化特征

通过统计的结果(见表4),2000年沈阳经济区 NPP 均值最大的用地类型是林地,为 3383.58 g/m^2 ;NPP 均值最小的用地类型是湿地,为 1770.94 g/m^2 。2005 年及 2010 年,林地的 NPP 均值仍为最大,湿地的 NPP 均值仍为最小。在 2000 年至 2010 年期间,所有用地类型的平均 NPP 都在减少。降幅最大的是林地,从 3383.58 g/m^2 降到 2806.51 g/m^2 ,降低了 17.06%;其次是草地,降幅 15.29%,第三为城镇用地,降幅 11.34%。湿地、农田、裸地的降幅分别为 8.43 %,9.62 %,6.82 %。

表 4 不同用地类型的 NPP 平均值(g/m^2)

Table 4 The mean NPP of different land use patterns

土地利用类型 Land use type	2000 年	2005 年	2010 年
林地 Forest	3383.58	2994.99	2806.51
草地 Grassland	2820.98	2486.31	2389.52
湿地 Wetland	1770.94	1531.20	1621.62
农田 Farmland	2364.86	2096.23	2137.44
城镇 Urban area	1952.22	1780.24	1730.82
裸地 Bare land	1990.34	1774.38	1854.51

2.3.2 不同土地类型转化下 NPP 的变化分析

通过 ARCGIS 空间分析工具,得到每种转化方式下 NPP 的年均变化量(表5)。不同年份之间不同地类转换下的年均 NPP 损益值如图 6(五年步长损益值大于 100 t 和十年步长损益值大于 200 t 的地类转换参与制作)。

表 5 不同地类转换下的 NPP 损益矩阵(t/a)

Table 5 NPP loss and gain matrix of different land use conversion types

年份 Year	土地利用类型 Land use type	林地 Forest	草地 Grassland	湿地 Wetland	农田 Farmland	城镇 Urban area	裸地 Bare land
2000—2005	林地	*	-7.96	-14.68	-982.77	-904.06	-55.10
	草地	17.97	*	-0.51	0.13	-0.74	*
	湿地	-113.94	0.78	*	-1077.46	-736.34	-10.32
	农田	-851.45	-52.34	-888.38	*	-21886.68	-71.58
	城镇	0.23	0.37	-0.52	-2.46	*	-1.12
	裸地	-5.68	*	-5.51	-8.59	-13.57	*
2005—2010	林地	*	0.00	98.63	-730.19	-199.86	5.30
	草地	-34.39	*	-0.10	-0.63	0.49	*
	湿地	-5.25	146.59	*	56.79	339.02	61.66
	农田	-441.70	648.01	23.10	*	-7003.61	-295.73
	城镇	-83.07	15.81	-4.77	-101.92	*	-18.18
	裸地	-0.40	185.02	-26.35	6.09	-39.04	*
2000—2010	林地	*	-5.55	-212.27	-3634.39	-2800.76	-85.48
	草地	-218.80	*	-0.27	-1.63	-4.65	*
	湿地	-114.58	38.41	*	-1307.91	-408.41	106.14
	农田	-1481.80	-1760.07	-2086.04	*	-87169.76	-365.30
	城镇	-77.97	-70.32	-36.87	-145.05	*	-26.73
	裸地	-3.90	51.74	19.82	25.88	-126.04	*

标“-”表示该转化方式下 NPP 减少,未标表示该转化方式下 NPP 增加,“*”表示没有该方式下的转化。

2000 年与 2005 年相比较,农田转城镇带来的 NPP 损失最大,为 21886.68 t/a。林地转为其他地类时 NPP 均减少,因为森林生物多样性极其丰富,是陆地最主要的碳库之一。其中林地城镇化、林地转农田带来的 NPP 损益较大。农田转为其他地类时 NPP 均减少,裸地、草地、城镇转出较少。

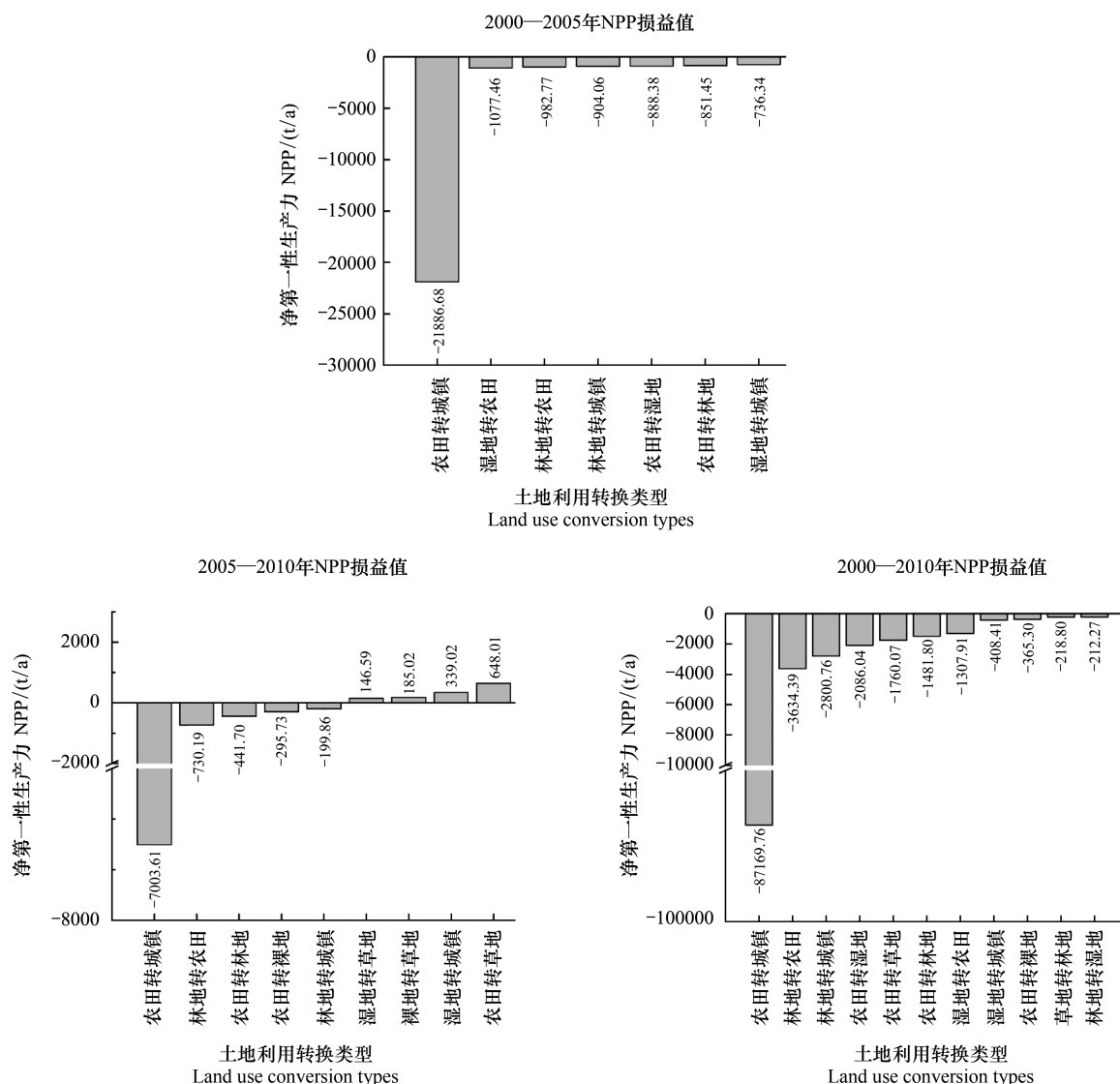


图 6 不同年份不同地类转换下的年均 NPP 损益值

Fig. 6 Annual NPP loss and gain in different years under different land use conversion types

2005 年与 2010 年相比较,年均 NPP 损失最大的转化方式仍是农田转城镇,为 7003.61 t/a, NPP 损失速率明显小于前五年。农田转草地的 NPP 收益最大。林地-城镇、林地-农田、农田-林地、农田转落地这四种转换带来的 NPP 损失较大。其他规律在结构上与前五年相匹配,但可以看出这五年的年均 NPP 损益在数量上较前五年低,说明近十年间沈阳经济区在城市扩张带来的 NPP 变化存在时间差异。具体表现为 2000—2005 年沈阳经济区城市化带来的 NPP 损失较多。

2000—2010 年,农田转城镇带来的 NPP 损失明显大于其他转化方式带来的 NPP 损失。林地-农田、林地-城镇、农田-湿地这 3 种转换带来的 NPP 损失相对较大。林地转为其他地类 NPP 均减少,湿地-草地、湿地-裸地、裸地-草地这三种转换下, NPP 增加。转为城镇的 NPP 总损失最多,说明随着城市化进程加快,以及城市扩展带来的城市下垫面变化,使得城镇建设用地增加成为其碳大量流失的主要驱动力。

3 结论与讨论

本研究利用 CASA 模型估算 2000 年、2005 年、2010 年沈阳经济区 NPP, 从区域和地类尺度分析其时空变化, 统计了不同地类转换模式下年均 NPP 的损益值, 从土地利用变化探讨了沈阳经济区城市扩展带来的 NPP 变化情况。得到结论如下:

(1) 2000 年—2010 年, 沈阳经济区土地利用变化最明显的是农田向城镇用地的转化, 农田大量减少, 用于城镇建设用地扩张。裸地、草地、湿地的开发量不大, 地类转化主要集中在农田与城镇, 林地与农田的占用和补充。后五年较前五年对城市建设用地的扩张需求更大。

(2) 2000 年—2010 年, 沈阳经济区 NPP 时空变化显著, 十年间土地净第一性生产力退化比较明显, 前五年退化的幅度比后五年要大。除了阜新市有增加, 其他市的 NPP 均为减少。抚顺减少量最大, 阜新市最小, NPP 减少量高值区主要分布在沈阳经济区的东部, 低值区位于沈阳经济区西北部。

(3) 2000 年—2010 年, 沈阳经济区六种土地利用类型的平均 NPP 都在下降, 而且前五年下降的幅度比后五年大。降幅最大的是林地, 其次是草地, 第三是城镇。农田转城镇带来的年均 NPP 损失明显大于其他土地利用转化方式。转为城镇的 NPP 总损益最大。在这十年间, 后五年由于城市扩展带来的城镇用地面积大量增加, 但是 NPP 的下降幅度却小于前五年, 说明在政策引导下的退耕还林及一系列的生态环境保护措施起到了作用。因此, 在大力建设城市的同时适当退耕还林, 植树造林, 维持生态系统的自然属性是平衡陆地碳储备的重要途径。

综上所述, 本文对 2000 到 2010 年沈阳经济区土地利用变化情况进行了分析, 同时对净初级生产力 (NPP) 应用 CASA 模型进行了评价, 结合地理信息系统技术及数理统计方法分析了 NPP 对土地利用变化的响应。NPP 的变化最主要因素为土地利用变化, 同时太阳总辐射、温度、降水也有一定的影响。此外, NPP 估算模型及土地利用转移矩阵的精度都受限于数据的空间分辨率, 所以对模型等研究方法的改进、优化及精度验证上有待进一步发展。

参考文献 (References):

- [1] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277(5325): 494-499.
- [2] Defries R S, Field C B, Fung I, Collatz G J, Bounoua L. Combining satellite data and biogeochemical models to estimate global effects of human-induced land cover change on carbon emissions and primary productivity. *Global Biogeochemical Cycles*, 1999, 13(3): 803-815.
- [3] McDonnell M J, Pickett S T A, Groffman P, Bohlen P, Pouyat R V, Zipperer W C, Parmelee R W, Carreiro M M, Medley K. Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. *Urban Ecosystems*, 1997, 1(1): 21-36.
- [4] Alberti M. The effects of urban patterns on ecosystem function. *International Regional Science Review*, 2005, 28(2): 168-192.
- [5] Wackernagel M, Yount J D. The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1998, 51(1/2): 511-529.
- [6] Pielke R A, Walko R L, Steyaert L T, Vidale P L, Liston G E, Lyons W A, Chase T N. The influence of anthropogenic landscape changes on weather in south Florida. *Monthly Weather Review*, 1999, 127(7): 1663-1673.
- [7] Imhoff M L, Tucker C J, Lawrence W T, Stutzer D C. The use of multisource satellite and geospatial data to study the effect of urbanization on primary productivity in the United States. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38(6): 2549-2556.
- [8] Nizeyimana E L, Petersen G W, Imhoff M L, Sinclair H R, Waltman S W, Reed-Margaretan D S, Levine E R, Russo J M. Assessing the impact of land conversion to urban use on soils with different productivity levels in the USA. *Soil Science Society of America Journal*, 2001, 65(2): 391-402.
- [9] 李传华, 赵军. 2000—2010 年石羊河流域 NPP 时空变化及驱动因子. *生态学杂志*, 2013, 32(3): 712-718.
- [10] 王新闯, 王世东, 张合兵. 基于 MOD17A3 的河南省 NPP 时空格局. *生态学杂志*, 2013, 32(10): 2797-2805.
- [11] Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 1998, 281(5374): 237-240.
- [12] 朴世龙, 方精云, 陈安平. 我国不同季节陆地植被 NPP 对气候变化的响应 (英文). *植物学报: 英文版*, 2003, 45(3): 269-275.
- [13] 方精云. 全球生态学气候变化与生态响应. 北京: 高等教育出版社, 2000: 262-265.

- [14] 肖和善. 植被净初级生产力模型研究. 亚热带水土保持, 2007, 19(4): 24-28.
- [15] 方精云, 柯金虎, 唐志尧, 陈安平. 生物生产力的“4P”概念、估算及其相互关系. 植物生态学报, 2001, 25(4): 414-419.
- [16] Milesi C, Elvidge C D, Nemani R R, Running S W. Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. Remote Sensing of Environment, 2003, 86(3): 401-410.
- [17] Imhoff M L, Bounoua L, Defries R, Lawrence W T, Stutzer D, Tucker C J, Ricketts T. The consequences of urban land transformation on net primary productivity in the United States. Remote Sensing of Environment, 2004, 89(4): 434-443.
- [18] Yu D Y, Shao H B, Shi P J, Zhu W Q, Pan Y Z. How does the conversion of land cover to urban use affect net primary productivity? A case study in Shenzhen city, China. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(11): 2054-2060.
- [19] 刘军会, 高吉喜. 气候和土地利用变化对北方农牧交错带植被 NPP 变化的影响. 资源科学, 2009, 31(3): 493-500.
- [20] 张晓云, 李晓, 殷健. 从城市群到大都市区——新政策语境下的沈阳经济区空间发展研究. 城市规划, 2010, 34(3): 80-84.
- [21] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 王如松. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例. 生态学报, 2011, 31(19): 5623-5631.
- [22] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. 生态学报, 2013, (3): 726-736.
- [23] 孙风云, 刘森, 胡远满, 李俊英, 李春林, 陈探. 基于多种方法的景观格局动态变化综合分析——以辽宁省铁岭市为例. 生态学杂志, 2013, (8): 2163-2171.
- [24] 李刚, 辛晓平, 王道龙, 石瑞香. 改进 CASA 模型在内蒙古草地生产力估算中的应用. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2100-2106.
- [25] 董丹, 倪健. 利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力. 生态学报, 2011, 31(7): 1855-1866.
- [26] Potter C S, Randerson J T, Field C B, Matson P A, Vitousek P M, Mooney H A, Klooster S A. Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7(4): 811-841.
- [27] Field C B, Randerson J T, Malmström C M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(1): 74-88.
- [28] Sellers P J, Tucker C J, Collatz G J, Los S O, Justice C O, Dazlich D A, Randall D A. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data. Journal of Climate, 1996, 9(4): 706-737.
- [29] 张峰, 周广胜, 王玉辉. 基于 CASA 模型的内蒙古典型草原植被净初级生产力动态模拟. 植物生态学报, 2008, 32(4): 786-797.