

DOI :10.13872/j.1000-0275.2015.0097

王翠翠, 蒋卫国, 冯刚, 刘湘南. 2000–2010 年武汉城市圈建设用地扩张对植被净初级生产力的影响[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(4): 674–679.  
Wang C C, Jiang W G, Feng G, Liu X N. Effects of construction land expansion on net primary productivity in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010[J]. Research of Agricultural Modernization, 2015, 36(4): 674–679.

## 2000–2010 年武汉城市圈建设用地扩张对植被 净初级生产力的影响

王翠翠<sup>1</sup> 蒋卫国<sup>2</sup> 冯刚<sup>2</sup> 刘湘南<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083 ;  
2. 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 100875)

**摘要** 城市发展是影响生态系统物质循环和能量流动的主要因素之一, 研究其对植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)的影响, 对于区域土地利用的合理规划具有重要意义。本文基于 2000–2010 年武汉城市圈土地利用数据和 NPP 数据, 分析研究武汉城市圈建设用地扩张及其对 NPP 的影响。结果表明: 1) 2000–2010 年武汉城市圈建设用地面积持续增加, 研究期间建设用地面积增加了 57.88% (即 1 459.44 km<sup>2</sup>) ; 2) 区域平均 NPP 由 919.55 g C/(m<sup>2</sup>·a) 下降为 702.95 g C/(m<sup>2</sup>·a), NPP 总量由 2 317.66 Gg C/a 增加到 2 797.91 Gg C/a, 增加率为 20.72% ; 3) 武汉城市圈的 9 个市中, 建设用地扩张较大的区域主要集中在武汉市及周边地区, 2000–2010 年武汉市建设用地增加率为 80.73%, NPP 总量增加了 30.53%, 由于建设用地平均 NPP 降低了 27.78%, 武汉城市圈建设用地 NPP 总量增加量相对较少。

**关键词** 建设用地 植被净初级生产力 遥感 归一化植被指数 武汉城市圈

中图分类号 F301.24

文献标识码 A

文章编号 :1000-0275(2015)04-0674-06

### Effects of construction land expansion on net primary productivity in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010

WANG Cui-cui<sup>1</sup>, JIANG Wei-guo<sup>2</sup>, FENG Gang<sup>2</sup>, LIU Xiang-nan<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** Urban development is one of the main factors that affect material circulations and energy flows in ecosystems. Studies on how urban development influences net primary productivity (NPP) are necessary for science-based planning of regional land use. Based on data of land uses and NPP in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010, the impacts of construction land expansion on NPP in Wuhan Metropolitan Area were assessed. The construction land in Wuhan Metropolitan Area increased by 57.88% (1 459.44 km<sup>2</sup>) from 2000 to 2010, and the average NPP decreased from 919.55 g C/(m<sup>2</sup>·a) to 702.95 g C/(m<sup>2</sup>·a) while total NPP increased from 2 317.66 Gg C/a to 2 797.91 Gg C/a with an increase rate of 20.72%. Among the nine cities in Wuhan Metropolitan Area, Wuhan and its surrounding area expanded fastest in their construction land. During the decade, the construction land in Wuhan increased by 80.73%, while the total NPP raised by 30.53%. Since the average NPP in the construction area was reduced by 27.78%, total NPP in Wuhan Metropolitan Area only increased marginally.

**Key words** construction land; net primary productivity; remote sensing; normalized differential vegetation index; Wuhan Metropolitan Area

20 世纪 90 年代以来, 我国社会经济取得了突飞猛进的发展, 经济增长虽然促进了城市化水平的提高, 但作为土地利用/覆盖变化的一个重要方面, 城市化改变了城市生态系统的组成和结构, 最终影响了它的过程、功能、环境以及人类生活质量<sup>[1-3]</sup>。植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)是指绿色植物在单位时间、单位面积上所积累的有机物

数量, 是由光合作用所产生的有机质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分, 是光合作用所吸收的碳和呼吸作用所释放的碳之间的差值, 即植物光合作用有机质的净创造<sup>[4-8]</sup>。

城市扩张会导致 NPP 的降低, 当区域由郊区转化为城市时, 植被固定二氧化碳的能力将会降低 2/3<sup>[9]</sup>, 正确地理解城市扩张对生态系统功能的影响具有重

基金项目: 国家自然科学基金(41171318), 国家科技支撑计划(2012BAH32B03), 全国生态环境十年(2000–2010 年)变化遥感调查与评估专项(STSN-13-00)。

作者简介: 王翠翠(1988–), 女, 山东人, 硕士研究生, 主要从事 3S 技术集成与应用方面的研究, E-mail: ycnwcc@163.com; 通讯作者: 蒋卫国(1976–), 男, 副教授, 主要从事湿地生态与洪水灾害方面的研究, E-mail: jwg76@163.com。

收稿日期: 2014-09-17, 修回日期: 2015-06-09

要价值。土地利用/覆被变化、城市扩张占用了大量农田,减少了二氧化碳的固定量,导致植被净初级生产力明显下降<sup>[10-14]</sup>。王原等<sup>[15]</sup>对气候变化及土地利用变化对上海市农田生态系统 NPP 的影响进行了研究,表明城市化进程加速导致建设用地占据大量农田,1987–2004 年土地利用变化对农田 NPP 的影响率由 78%增加到 92%。1980s 以来的近 25 年间武汉城市圈建设用地面积呈高速持续增长趋势,景观格局趋向复杂,斑块面积减小,破碎度增高,受人类活动干扰强度较大<sup>[16]</sup>。NPP 是评价陆地生态系统可持续发展的重要指标,其变化直接反映了人类活动对植被的影响,而建设用地扩张是人类活动的一个重要表现,因此,研究建设用地扩张对植被初级生产力的影响对于城市健康有序发展具有重要意义。

由相关研究发现,目前主要是关于土地利用/覆被变化、气候变化对 NPP 影响,仅针对建设用地扩张对 NPP 影响的研究较少。本文选择武汉城市圈为研究区,基于土地利用数据、Landsat 和归一化植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)数据,对武汉城市圈内建设用地扩张对 NPP 的影响进行分析研究,旨在揭示城市扩张对植被生产能力的影响,探讨建设用地扩张对土地利用结构变化的驱动作用,为推进武汉城市圈“两型社会”建设,实现城市圈又好又快发展提供依据。同时,对武汉城市圈控制建设用地扩张,推进城市用地合理有序发展具有重要意义。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

武汉城市圈是国务院批准的全国首批资源节约型与环境友好型社会建设综合配套改革试验区,位于湖北省中东部(112°29'E–116°08'E, 29°02'N–31°39'N),又称“1+8”城市圈,它是以武汉为中心,包括黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、天门、潜江周边 8 个城市所组成的区域经济联合体(图 1);东邻安徽,南连江西、湖南,北与河南毗邻,总面积为 58 052 km<sup>2</sup>,占湖北省面积的 31%,是湖北省产业和生产最具活力的区域,也是湖北乃至长江中游最大、最密集的城市群。武汉城市圈具有雨量充沛、日照充足、夏季高温多雨、冬季寒冷少雨的特点,年平均气温 15–20 °C,年均日照时数 1 950–2 210 h,无霜期 250–300 d,年平均降雨 1 130–1 600 mm。区域内河网密布,湖泊湿地繁多,物种丰富,兼有南北各种乔、灌、草植物物种,但因人类长期活动,除大别山区外,很少有天然植被分布,多为次生林或人工林等。武汉

城市圈土地利用类型多样,呈多层次环状分布,由内向外为城镇、耕地、园地、草地和林地等,地貌类型多样,平原、岗地、丘陵和山地兼备,大致呈“两山、两岗、三丘、三原”的格局<sup>[17]</sup>。

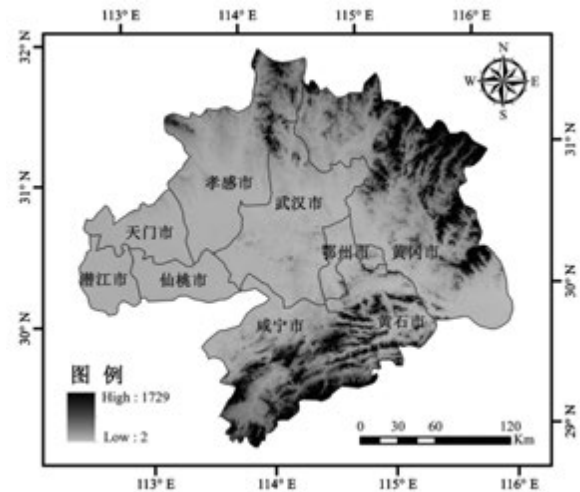


图 1 武汉城市圈地理位置

Fig. 1 Location of Wuhan Metropolitan Area

### 1.2 数据来源与研究方法

1.2.1 数据来源 武汉城市圈 2000、2005 和 2010 年土地利用/覆被数据来源于全国生态环境十年变化调查与评估项目,该数据是利用 Landsat TM 和环境一号卫星遥感影像,采用人机交换解译方法进行提取,并通过武汉实地野外调查修正,以及分类精度验证,其得到区域土地利用/覆盖数据精度均达到 89.6%,符合本区域研究的精度。生态系统类型土地利用/覆盖分类区划参照政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)一级分类系统体系,将研究区分为林地、草地、湿地、耕地、建设用地和其他(包括裸岩、裸土等)6 大土地利用类型。

在区域与全球化尺度下,植被 NPP 常由归一化植被指数(NDVI)计算得到<sup>[18-19]</sup>。本文的遥感数据选用美国国家航空航天局提供的 EOS/MODIS 的 MOD13 数据产品,时间分辨率为 16 d,空间分辨率为 250 m。通过格式转换和重投影,采用最大合成法(Maximum Value Composite, MVC)得到 2000 年、2005 年和 2010 年的 NDVI 数据<sup>[20]</sup>。

1.2.2 NPP 估算方法 与传统的回归模型相比,以 BIOME-BGC、CASA 等为代表的过程模型使用了更多参数和更精密的估算方法,提高净第一生产力的估算精度<sup>[21]</sup>。本研究选取估算 NPP 的 CASA 模型<sup>[22-24]</sup>光能利用率模型,该模型认为植被 NPP 主要由植被吸收的光合有效辐射(absorbed photosynthetic active radiation, APAR)和实际光能利用率( $\epsilon$ )这两个变量

来估算,公式如下:

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

式中,  $APAR(x,t)$  表示像元  $x$  在  $t$  月吸收的光合有效辐射 ( $g C/(m^2 \cdot month)$ )  $\varepsilon(x,t)$  表示像元  $x$  在  $t$  月的实际光能利用率 ( $g C/MJ$ )。

根据植被对红外和近红外波段的发射特征估算光合有效辐射 (photosynthetic active radiation, PAR,  $0.4-0.7 \mu m$ ) 中被植被叶子吸收的部分 (APAR), 其计算公式如下:

$$APAR(x,t) = SOL(x,t) \times FPAR(x,t) \times 0.5 \quad (2)$$

式中  $SOL(x,t)$  表示  $t$  月在像元  $x$  处的太阳总辐射量 ( $MJ/(m^2 \cdot month)$ )  $FPAR(x,t)$  为植被层对入射光合有效辐射的吸收比例, 常数 0.5 表示植被所能利用的太阳有效辐射占太阳总辐射的比例。

在一定范围内  $FPAR$  与归一化植被指数 (NDVI) 和比值植被指数 (SR) 均存在线性关系<sup>[6,25-26]</sup> 即:

$$FPAR(x,t) = \frac{(NDVI(x,t) - NDVI_{i,min})}{(NDVI_{i,max} - NDVI_{i,min})} \times (FPAR_{i,max} - FPAR_{i,min}) + FPAR_{i,min} \quad (3)$$

式中  $NDVI_{i,max}$  和  $NDVI_{i,min}$  分别对应第  $i$  种植被类型的 NDVI 最大值和最小值。

$$FPAR(x,t) = \frac{(SR(x,t) - SR_{i,min})}{(SR_{i,max} - SR_{i,min})} \times (FPAR_{i,max} - FPAR_{i,min}) + FPAR_{i,min} \quad (4)$$

式中  $FPAR_{i,max}$  和  $FPAR_{i,min}$  的取值与植被类型无关, 分别为 0.001 和 0.95  $SR_{i,min}$  和  $SR_{i,max}$  分别为第  $i$  种植被类型 NDVI 的 95% 和 5% 下侧百分位数  $SR(x,t)$  由公式 (5) 确定。

$$SR(x,t) = \frac{1 + NDVI(x,t)}{1 - NDVI(x,t)} \quad (5)$$

Los<sup>[27]</sup> 通过计算  $FPAR-NDVI$  和  $FPAR-SR$  的平均值估算的  $FPAR$  与实测值之间误差最小。本文基于公式 (3) 与 (4) 取其平均值作为  $FPAR$  的估算值, 公式如下:

$$FPAR(x,t) = \alpha FPAR_{NDVI} + (1 - \alpha) FPAR_{SR} \quad (6)$$

式中  $\alpha$  为两种方法之间的调整系数, 本研究取二者平均值 0.5。

理想条件下植被具有最大光能利用率, 而在现实条件下的最大光能利用率主要受温度和水分的影响<sup>[6,28-29]</sup> 计算公式如下:

$$\begin{aligned} \varepsilon(x,t) &= T_{e1}(x,t) \times T_{e2}(x,t) \times W_{\varepsilon}(x,t) \times \varepsilon_{max} \\ T_{e1}(x,t) &= 0.8 + 0.02 \times T_{opt}(x) - 0.0005 \times [T_{opt}(x)]^2 \\ T_{e2}(x,t) &= 1.184 / \{1 + \exp[0.2 \times (T_{opt}(x) - 10 - T(x,t))]\} \\ &\quad \times 1 / \{1 + \exp[0.3 \times (-T_{opt}(x) - 10 - T(x,t))]\} \\ W_{\varepsilon}(x,t) &= 0.5 + 0.5 \times E(x,t) / E_p(x,t) \end{aligned} \quad (7)$$

式中  $T_{e1}(x,t)$  与  $T_{e2}(x,t)$  表示低温和高温对光能利用率的胁迫作用;  $W_{\varepsilon}(x,t)$  为水分胁迫影响系数;  $\varepsilon_{max}$  表示理想条件下的最大光能利用率  $T_{opt}(x)$  为植物生长的最适温度, 定义为某一区域一年内 NDVI 值达到最高时的当月平均气温 ( $^{\circ}C$ ), 当某一月平均温度小于或等于  $-10^{\circ}C$  时  $T_{e1}(x,t)$  取 0; 当某月平均温度  $T(x,t)$  比最适温度  $T_{opt}(x)$  高  $10^{\circ}C$  或低  $13^{\circ}C$  时, 该月的  $T_{e2}(x,t)$  值等于月平均温度  $T(x,t)$  为最适温度  $T_{opt}(x)$  时  $T_{e2}(x,t)$  值的 1/2;  $E(x,t)$ <sup>[30]</sup> 为区域实际蒸散量 ( $mm$ )  $E_p(x,t)$ <sup>[30-31]</sup> 为潜在蒸散量 ( $mm$ )。

1.2.3 统计方法 将土地利用类型矢量数据转化为 250 m 的栅格数据, 基于生态系统类型与年均 NPP 数据, 计算得到不同生态系统类型年均 NPP 数据。然后由不同生态系统类型年均 NPP 数据和相应生态系统类型的面积计算不同土地利用类型 NPP 总量。

## 2 2000-2010 年武汉城市圈建设用地扩张特征分析

2000-2010 年武汉城市圈建设用地呈持续增加趋势, 2000、2005 年建设用地面积分别为 2 521.70  $km^2$  和 3 065.33  $km^2$ , 与 2000 年相比, 2010 年增加了 57.88%。2000-2010 年建设用地扩张最大的区域主要集中在武汉市和咸宁市, 2000 年建设用地面积分别为 803.88  $km^2$  和 215.94  $km^2$ , 到 2010 年分别扩张为 1 452.88  $km^2$ 、404.06  $km^2$ , 增加了 80.73% 和 87.12%。2000-2010 年建设用地面积增加最少的是潜江市, 2010 年为 168.19  $km^2$ , 相对于 2000 年增加了 14.63% (图 2)。

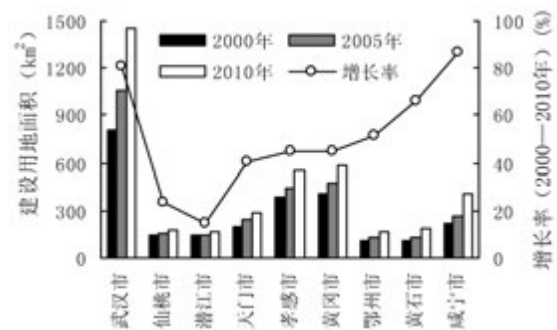


图 2 2000-2010 年武汉城市圈建设用地面积及其变化率  
Fig. 2 Construction land area and its change rate in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010

2000-2005 年建设用地的增加主要来自林地、湿地和耕地, 转化面积分别为 27.06  $km^2$ 、71.94  $km^2$  和 463.25  $km^2$ ; 草地和其他土地利用类型向建设用地的转化较小, 面积分别为 1.50  $km^2$  和 2.00  $km^2$ 。2005-2010 年建设用地持续扩张, 仍以耕地类型转化为主, 其次是林地和湿地, 其转化面积分别为 769.00  $km^2$ 、



87.69 km<sup>2</sup> 和 61.69 km<sup>2</sup>，草地和裸岩、裸土等向建设用地转化的面积为 2.13 km<sup>2</sup>。武汉城市圈城市化、工业化进程的加快占用了大量耕地，研究期间有 3.77% 耕地转化为建设用地；林地、草地和湿地分别有 0.56%、0.42%、2.11% 转化成建设用地；裸土和裸岩地转化为建设用地的面积为 2.63 km<sup>2</sup>，由于武汉城

市圈裸岩和裸土面积基数较小，其转化幅度达到 17.65%。由土地利用变化可以看出 2000–2010 年武汉城市圈主要景观变化特征是林地、湿地和耕地生态系统向建设用地的转化，城市化发展是武汉城市圈景观格局变化的主要因素，其对研究区植被净初级生产力具有重要影响(图 3、表 1)。

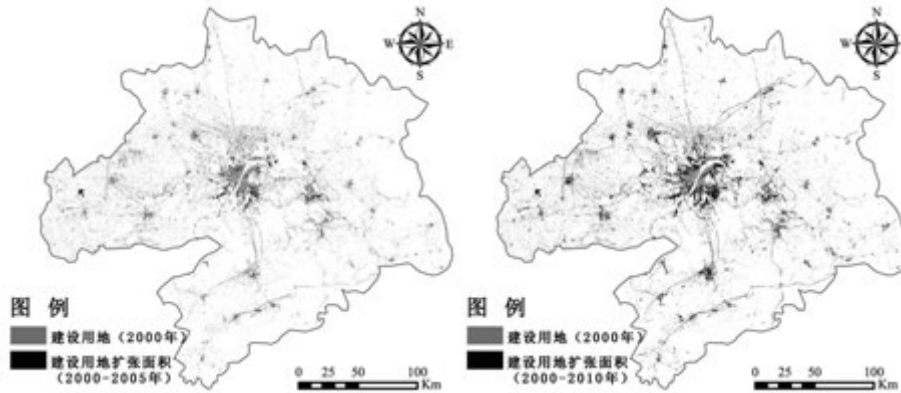


图 3 2000–2005 年和 2000–2010 年武汉城市圈建设用地面积扩张

Fig. 3 Area expansion of the construction land in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010

表 1 2000–2010 年武汉城市圈土地利用/覆被变化

Table 1 Changes of each land use/cover type in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010

土地利用类型	2000–2005 年转换矩阵(%)						2000–2010 年转换矩阵(%)					
	森林	草地	湿地	耕地	建设用地	其他	森林	草地	湿地	耕地	建设用地	其他
森林	99.59	0.00	0.03	0.19	0.18	0.00	99.42	0.00	0.01	0.01	0.56	0.00
草地	0.21	98.67	0.05	0.85	0.23	0.00	0.01	99.57	0.00	0.00	0.42	0.00
湿地	0.09	0.00	97.70	1.22	0.99	0.00	0.02	0.00	97.74	0.13	2.11	0.00
耕地	0.11	0.00	0.65	97.81	1.43	0.00	0.01	0.00	0.48	95.73	3.77	0.00
建设用地	0.38	0.00	0.05	0.59	98.99	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	99.96	0.00
其他	38.66	0.00	0.84	18.91	13.45	28.15	0.00	0.00	0.42	0.00	17.65	81.93

### 3 2000–2010 年武汉城市圈建设用地 NPP 时空变化特征

建设用地的扩张致使土地利用/覆被类型发生变化，大量耕地、林地和湿地转化为建设用地，植被净初级生产力的空间分布发生改变。2000–2010 年武汉城市圈 9 个市的建设用地平均 NPP 均呈现降低趋势，减少量最大的是鄂州市和咸宁市，平均 NPP 分别降低 290.21 g C/(m<sup>2</sup>·a) 和 252.32 g C/(m<sup>2</sup>·a)；减少量最小的为潜江市和天门市，研究期间降低率不足 10%。武汉市是武汉城市圈的“龙头”，建设用地面积最大，平均 NPP 相对最低，2000–2010 年建设用地平均 NPP 由 681.73 g C/(m<sup>2</sup>·a) 降低为 492.37 g C/(m<sup>2</sup>·a)，减少率为 27.78%。由于武汉市建设用地面积较大，因此，虽然其年均 NPP 最低，但其 NPP 总量最高，2000 年为 548.03 Gg C/a，2005 年增加了 174.78 Gg C/a，2010 年 NPP 总量为 715.35 Gg C/a，相对于 2000 年增加了 30.53%。潜江市和鄂州市研究期间 NPP 总量增加不足 5%。2000–2010 年武汉

城市圈平均 NPP 和 NPP 总量变化较大的是武汉市、鄂州市和咸宁市，变化最小的为潜江市(图 4、图 5)。

2000–2010 年武汉城市圈建设用地不断扩张，植被组成及数量降低，植被净初级生产力呈现降低趋势。武汉市、鄂州市与咸宁市城市化发展较快，随着建设用地的不断增加，植被覆盖降低，建设用地平均植被净初级生产力减小，城市绿化功能需要提高。

### 4 2000–2010 年武汉城市圈建设用地扩张对 NPP 的影响

2000–2010 年武汉市建设用地面积扩张 649 km<sup>2</sup>，相比 2000 年增加了 80.73%，但由于建设用地年均 NPP 降低了 27.78%，武汉市建设用地 NPP 总量仅增加了 30.53%。咸宁市建设用地面积增加 87.12%，而年均 NPP 降低 24.84%，致使 2000–2010 年 NPP 总量仅增加 40.64%。研究期间，武汉城市圈另外 7 个城市，建设用地扩张比例为 14.63%–66.52%，建设用地年均 NPP 减少比例范围为 9.66%–31.98%，其 NPP 总量增加范围为 3.18%–26.97%，

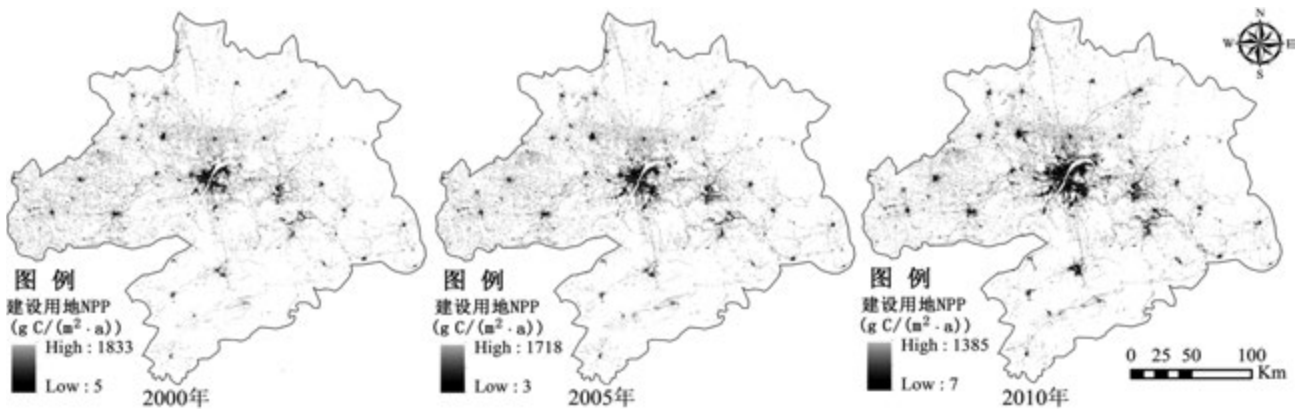


图 4 2000–2010 年武汉城市圈建设用地植被净初级生产力空间分布

Fig. 4 NPP distribution of construction land in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010

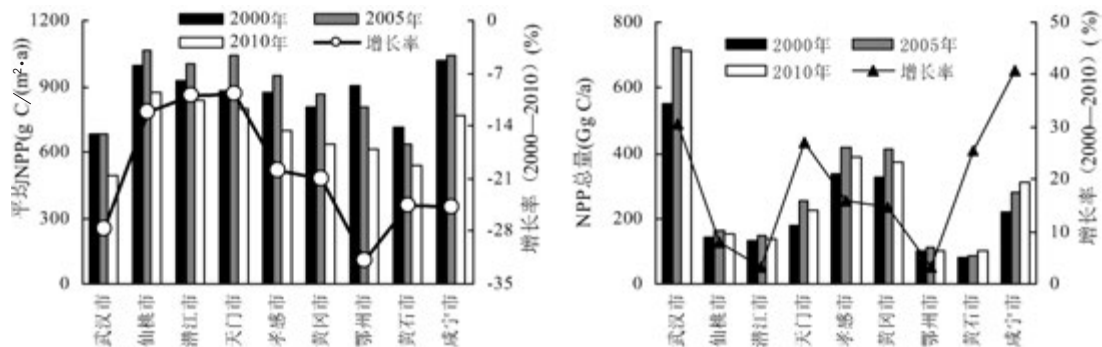


图 5 2000–2010 年武汉城市圈各市建设用地 NPP 分布及变化

Fig. 5 NPP distributions of construction land and changes of different cities in Wuhan Metropolitan Area from 2000 to 2010

说明研究区内城市绿化率较低,需增加植被绿地面积,提高城市环境质量。

2000–2010 年武汉城市圈各种土地利用类型的平均 NPP 整体均呈下降趋势。其中,建设用地平均 NPP 由 2000 年的  $919.55 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  下降到 2010 年的  $702.95 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 减少幅度达到 23.56%。研究期间,武汉城市圈区域平均 NPP 降低了  $207.70 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 2010 年相对 2000 年下降了 18.10%。2000 年、2005 年、2010 年,武汉城市圈区域植被净初级生产力总量分别为  $66\ 095 \text{ Gg C/a}$ 、 $67\ 909.24 \text{ Gg C/a}$ 、 $54\ 128.68 \text{ Gg C/a}$ , 与 2000 年相比,2010 年减少量为  $11\ 966.32 \text{ Gg C/a}$ , 减少率为 18.10%。2000–2010 年除建设用地外,其他土地利用类型的植被初级生产总量均下降。2000、2005 和 2010 年建设用地植被净初级生产总量分别为  $2\ 317.66 \text{ Gg C/a}$ 、 $2\ 876.77 \text{ Gg C/a}$  和  $2\ 797.91 \text{ Gg C/a}$ 。2000–2010 年由于建设用地平均 NPP 降低了 23.56%, 虽然其面积增加了 57.88% (即  $1\ 459.44 \text{ km}^2$ ), 但区域建设用地的植被净初级生产力总量仅增加了 20.72%。

1995–2010 年武汉城市圈城市化水平由 30.06% 增加到 38.22%, 增幅达 27.15%, 使得建设用

地规模呈持续增长趋势<sup>[16]</sup>。随着武汉城市圈人口增长和经济活动的增加,必然导致人类活动加剧,城市化水平不断提高,区域交通建设飞速发展,各级公路、铁路网络的完善,飞机场、港口的建设都会增加建设用地的比重,从而造成大量耕地、湿地、林地及草地等生态系统类型转化为建设用地,致使区域生态系统结构及组分发生变化,植被生态的数量及质量有所下降,影响不同生态系统平均 NPP,进而导致区域 NPP 总量降低。

## 5 结论

根据对武汉城市圈建设用地和植被净初级生产力变化的研究分析,结果表明:1) 从时间分布看,2000–2010 年武汉城市圈建设用地呈持续增加趋势,增加值为  $1\ 459.44 \text{ km}^2$ , 而平均 NPP 总体呈降低趋势,研究期间平均 NPP 降低  $216.60 \text{ g C}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 导致区域 NPP 总量仅增加了  $480.24 \text{ Gg C/a}$ 。

2) 从空间分布看,2000–2010 年武汉城市圈 9 个市中,武汉市城市化发展较快,建设用地面积增加值最大为  $649 \text{ km}^2$ , 与 2000 年相比,2010 年建设用地面积增加了 80.73%, 由于该市建设用地面积平均

NPP降低了27.78% 所以NPP总量仅增加了30.53% , 即167.32 Gg C/a。鄂州市2000-2010年建设用地平均NPP降低31.98% , 在建设用地面积增加51.69%的基础上 ,NPP总量仅增加了3.18%。武汉城市圈的其他7个城市同样因建设用地平均NPP降低 ,NPP总量的增加幅度较小。

## 6 讨论

建设用地的扩张会造成土地利用/覆被类型的变化 ,进而改变植被组分及数量 ,影响城市生态功能及可持续发展 ,因此需要合理控制建设用地的增加 ,对城市化发展做出合理规划与预测。促进武汉城市圈可持续发展 ,进一步推进其两型社会的建设 ,需要增加城市绿化面积 ,提高植被净初级生产力 ,加强土地利用的合理规划 ,创新节约集约用地手段 ,统筹安排城乡建设用地布局 ,优化土地资源配置 ;协调经济、社会和生态发展 ,整体提高武汉城市圈土地利用综合效益。由于植被净初级生产力变化不仅受到人为社会因素的影响 ,也会受到自然气候的影响 ,本文未考虑研究期间武汉城市圈气温、降水变化对NPP的影响 ,有待进一步研究。

参考文献 :

- [1] Alberti M. The effects of urban patterns on ecosystem function[J]. *International Regional Science Review*, 2005, 28(2): 168-192.
- [2] McDonnell M J, Pickett S T A, Groffman P, et al. Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient[J]. *Urban Ecosystems*, 1997, 1(1): 21-36.
- [3] Jiang W G, Wang W J, Chen Y H, et al. Quantifying driving forces of urban wetlands change in Beijing City[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(2): 301-314.
- [4] Leith H, Whittaker R H. *Primary productivity of the biosphere*[D]. New York: Springer Verlag Press, 1975.
- [5] Cramer W, Field C B. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): introduction[J]. *Global Change Biology*, 1999, 5(S1): 3-4.
- [6] Field C B, Randerson J T, Malmstrom C M. Global net primary production: Combining ecology and remote sensing[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, 51(1): 74-88.
- [7] Matsushita B, Tamura M. Integrating remotely sensed data with an ecosystem model to estimate net primary productivity in East Asia[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81(1): 58-66.
- [8] Haberl H, Erb K H, Krausmann F, et al. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(31): 12942-12947.
- [9] 陈玉娟, 管东生, Peart M R. 珠江三角洲快速城市化对区域植被固碳放氧能力的影响研究[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2006, 45(1), 98-102.
- [10] 孙政国, 杨齐, 李建龙. 土地利用与土地覆盖变化对中小城市净初级生产力的影响[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(15): 291-296.
- [11] 徐昔保, 杨桂山, 李恒鹏. 太湖流域土地利用变化对净初级生产力的影响[J]. *资源科学*, 2011, 33(10): 1940-1947.
- [12] 王宗明, 国志兴, 宋开山, 等. 2000-2005年三江平原土地利用/覆被变化对植被净初级生产力的影响研究[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 136-146.
- [13] 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(4): 434-443.
- [14] Tian G J, Qiao Z. Assessing the impact of the urbanization process on net primary productivity in China in 1989-2000[J]. *Environment Pollution*, 2014, 184(C): 320-326.
- [15] 王原, 黄玫, 王祥荣. 气候和土地利用变化对上海市农田生态系统净初级生产力的影响[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(3): 641-648.
- [16] 熊宏涛. 近25年来武汉城市圈土地利用景观格局变化及驱动力分析[D]. 武汉: 华中师范大学, 2012.
- [17] 雷征, 董捷. 武汉城市圈土地利用结构演变规律及驱动因素分析[J]. *农业现代化研究*, 2010, 31(2): 147-151.
- [18] Fang J Y, Piao S L, Tang Z Y. Interannual variability in net primary production and precipitation[J]. *Science*, 2001, 293(7): 1723-1735.
- [19] Donmez C, Berberoglu S, Curran P J. Modelling the current and future spatial distribution of NPP in a Mediterranean watershed[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011, 13(3): 336-345.
- [20] 李春晖, 杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其降水 / 径流关系[J]. *地理研究*, 2004, 23(6): 753-759.
- [21] 李登科, 范建忠, 王娟. 基于 MOD17A3 的陕西省植被 NPP 变化特征[J]. *生态学杂志*, 2011, 30(12): 2776-2782.
- [22] Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 811-841.
- [23] 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[J]. *植物生态学报*, 2008, 32(4): 786-797.
- [24] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 413-424.
- [25] Ruimy A, Saugier B, Dedieu G. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99(D3): 5263-5283.
- [26] Los S O, Justice C O, Tucker C J. A global 1° by 1° NDVI dataset for climate studies derived from the GIMMS continental NDVI data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(17): 3493-3518.
- [27] Los S O. Linkages between global vegetation and climate: an analysis based on NOAA advanced very high resolution radiometer data[D]. USA: National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1998.
- [28] Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production-A process model based on global satellite and surface data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 811-841.
- [29] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(3): 193-200.
- [30] 周广胜, 张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究[J]. *植物生态学报*, 1996, 20(1): 11-19.
- [31] 周广胜, 张新时. 全球变化的中国气候 - 植被分类研究[J]. *植物学报*, 1996, 38(1): 8-17.

(责任编辑:王育花)