

# Spatio-Temporal Response of Vegetation NPP to Land Use/Land Cover Change in Guangzhou\*

Yingchun Fu, Xueyu Lu, Xiantie Zeng

School of Geography, South China Normal University, Guangzhou  
Email: fuyc@scnu.edu.cn, praymer1007@gmail.com, feandyi@163.com

Received: Jun. 17<sup>th</sup>, 2013; revised: Jul. 4<sup>th</sup>, 2013; accepted: Jul. 12<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Yingchun Fu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** Net primary productivity (NPP) is defined as the organic carbon accumulated by green plants photosynthesis in per area and time, and as a key ecological indicator reflecting the impacts of urbanization expansion and Human activities on the ecosystem. It is significant to explore NPP variations in a fast urbanization case of mega city, Guangzhou. This research applies MODIS-1km NPP data to analyze spatio-temporal pattern variation of NPP and its response to the changes of land use/land cover (LULCC) in Guangzhou during the period of 2001-2006. NPP time-series data were obtained through the projection and pretreatment of MOD17A3, and spectral angle mapper (SAM) decision tree was applied to obtain 8 vegetation types, of which the classification accuracy was more than 80%. The results display that NPP varied with range of 250~500  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  in the urban central areas and the suburb areas, and 500~750  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  in mountainous regions. Moreover, NPP increased with ratio of 0.13 from 2001 to 2003, and decreased with an average change rate of  $-0.75$  per year from 2003 to 2006. There were distinct NPP variations and the land covers transfer among the central, suburb and exurb areas in Guangzhou. By contrasting NPP conversion intensity driven by LULCC, it was found that the land covers with high NPP value such as shrublands, woody savannas and mixed forest turn into land covers with low value such as grassland and croplands that mainly led to the loss of NPP. The case is related with the strategy of balancing the croplands through reclaiming these vegetation covers. Therefore, the NPP variation of different land use/land cover indicated the response of ecosystems to urbanization and human activities.

**Keywords:** NPP; Guangzhou; Spatio-Temporal Pattern; Conversion Intensity

## 广州市植被净初级生产力对土地覆被变化的时空响应特征\*

付迎春, 卢雪玉, 曾献铁

华南师范大学地理科学学院, 广州  
Email: fuyc@scnu.edu.cn, praymer1007@gmail.com, feandyi@163.com

收稿日期: 2013年6月17日; 修回日期: 2013年7月4日; 录用日期: 2013年7月12日

**摘要:** 植被净初级生产力(NPP)指单位面积和单位时间内转换并固定下来的碳量, 是反映城市扩张和人类活动对生态系统影响的重要指标, 探索巨型城市——广州在快速城市化时期的 NPP 动态及其影响具有重要意义。本文应用 MODIS-1km NPP 影像数据开展 2001~2006 年广州市净初级生产力的时空格局变化分析, 及 NPP 对土地利用覆被变化响应特征的初步探究。结果表明广州市城区及近郊 NPP 主要分布在 250~500  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 山区 NPP 主要分布在 500~750  $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 总体呈现出 2001~2003 以

\*资助信息: 国家自然科学基金(No. 41101152)和华南师范大学研究生科研创新基金资助。

0.13 平均速率增长, 然后在 2003~2006 年以-0.75 的平均速率下降的趋势。广州市不同地区 NPP 总量和土地利用覆被变化率分布均存在明显差异。通过对比土地利用覆被变化驱动的 NPP 转移强度比例, 发现灌丛、木本草地和混交林等高 NPP 均值地类转为草地和农用地等低值 NPP 地类, 是 NPP 下降的主要原因。这与城市扩张后通过复垦这些地类来保持农用地数量平衡的策略密切相关, 各地类上 NPP 的变化清晰指示了生态系统对城市化及人类活动的响应。

**关键词:** NPP; 广州; 时空格局; 转移强度

## 1. 引言

植被的净初级生产力(NPP)是指植被转换光合作用产生的有机物质总量扣除自养呼吸后的剩余部分<sup>[1,2]</sup>, 可以用单位面积和单位时间内转换并固定下来的碳量表示( $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )。NPP 作为表示植被活动的关键变量<sup>[2]</sup>, 不仅是评价生态系统结构与功能协调性及其与环境相互作用的重要指标<sup>[3]</sup>, 还可以揭示生态过程调节能力、生物圈发展健康水平和气候变化响应等诸多方面的信息<sup>[4-7]</sup>。土地利用覆被变化(Land use/Land cover change, 简称 LULCC)对 NPP 的时空变化起到重要作用, LULCC 直接改变了生态系统类型、结构和功能, 从而改变了生态系统 NPP<sup>[8,9]</sup>, 气候变化则通过影响植物光合作用、呼吸作用和土壤有机碳的分解而对生态系统 NPP 产生作用<sup>[9-11]</sup>。高志强等<sup>[12]</sup>分析了气候及土地利用变化对区域尺度上 NPP 的影响, 刘军会等<sup>[13]</sup>借助土地利用动态度分析了 LULCC 对中国北方农牧交错带植被覆盖度变化的影响。相关研究在区域和典型生态系统上开展, 而基于城市扩张视角在精细尺度上多种地类相互转换引起的 NPP 变化动态的记录尚不清晰。

城市具有高异质镶嵌的复杂生态系统、微气候和人类活动干扰, 研究城市扩张对城市植被 NPP 的相对作用, 可以更好的了解生态系统的功能及其对自然环境、气候和社会人为环境变化的反馈能力, 对快速城市化进程中的巨型城市开展 NPP 变化及其影响的定量分析具有重要意义。广州市地处北温带与热带过渡区, 植被类型丰富, 自 2000 年广州市提出“东进、西联、南拓、北优”的城市空间优化发展策略以来, 城市化进程快, 变化快<sup>[14]</sup>, 是华南区 NPP 人为影响研究的典型区域。本研究拟分析 2001~2006 年广州市 NPP 时空格局, 应用不同地类间转换的 NPP 转移强度估算来说明 LULCC 的影响程度, 为广州市低碳经济

与区域可持续发展提供科学依据。

## 2. 研究区概况

广州市位于东经 112°57'至 114°03', 北纬 22°26'至 23°56', 地处中国大陆南方和广东省中南部(图 1), 珠江三角洲的北缘, 接近珠江流域下游入海口, 全市面积 7434 平方公里<sup>[15]</sup>。广州市横跨北回归线, 年平均气温为 21.4℃~21.9℃, 气候属南亚热带海洋性季风气候, 具有温暖多雨、光热充足、温差较小、夏季长、霜期短等气候特征。全年水热同期, 雨量充沛, 利于植物生长, 年降水量在 1612~1909 毫米之间, 降水多集中于 4~9 月<sup>[16]</sup>。广州市市辖中心区与近郊区共十个区和两个远郊区, 主要植被分布在近郊与远郊区。自 2000 年以来, 广州市植被覆盖度有所增加, 但中心城区植被覆盖度仍处于下降趋势<sup>[17]</sup>。

## 3. 研究数据及方法

### 3.1. 数据来源及预处理

NPP 数据为广州市 2001 年至 2006 年 MODIS17 A3 数据产品。从美国国家航空航天局戈达德地球科学中心下载原始数据, 剔除无效数据和 3 倍标准差以外的异常数据得到后续处理数据。

选取 2001、2003 和 2006 年 Landsat TM 遥感影像(空间分辨率为 30 m), 经过辐射定标和大气校正等预处理, 根据 IGBP (International Geosphere-Biosphere Program)按植被群落生理参数的分类标准, 结合广州市实际地表覆盖地类确定 NPP 估算的 8 类植被: 常绿针叶林、常绿阔叶林、混交林、灌丛、木本草地、草地、农用地、城市和建设用地、农田森林过渡带、水体、裸地。应用光谱角制图法分类, 分类精度分别为 82.5%、81.4%和 83.3%, kappa 系数分别为 0.80、0.78 和 0.81。所有解算和结果数据都统一投影在 Albers

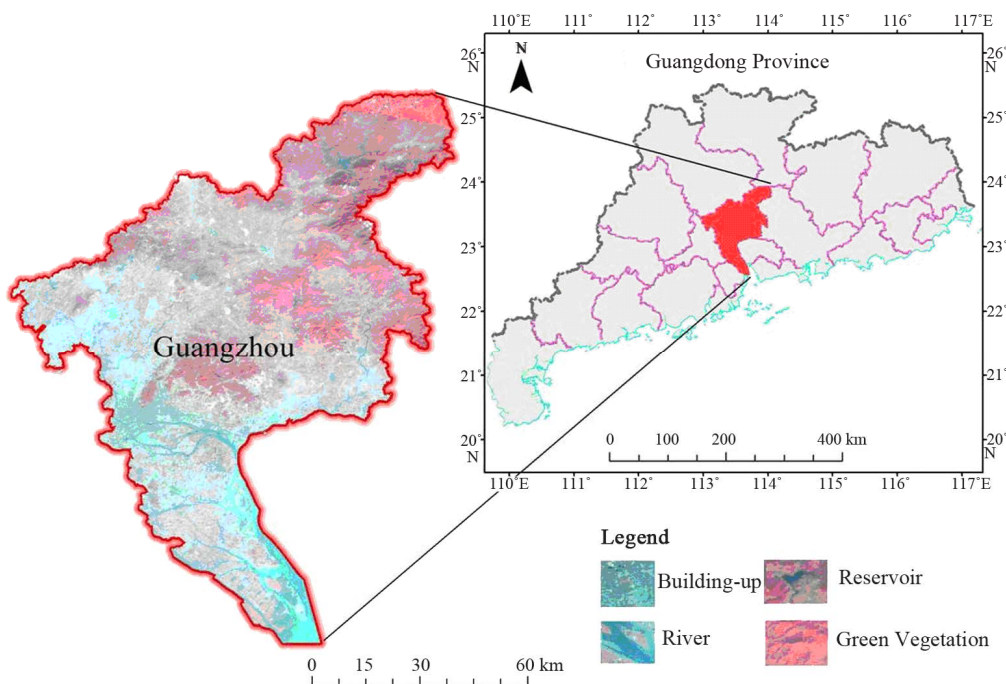


Figure 1. Location of the study area  
图 1. 研究区示意图

Conical Equal Area 坐标系, 分类数据重采样到 1 km 空间分辨率以统计各类的 NPP。

### 3.2. 研究方法

#### 3.2.1. NPP 变化率

NPP 变化率能够反映某时间阶段内 NPP 变化趋势, NPP 变化率  $K$  计算如下:

$$K = \frac{NPP_b - NPP_a}{NPP_\lambda} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

其中,  $NPP_a$  和  $NPP_b$  分别表示特定时间阶段内开始和结束时 NPP 值,  $NPP_\lambda$  表示此阶段内 NPP 均值,  $T$  表示研究时间段。

#### 3.2.2. NPP 转移强度

应用 NPP 转移强度分析说明各种土地覆被类型的转变对 NPP 的影响作用。用分析时段中各类 NPP 的均值差乘以分类转移矩阵中的转移面积权重比例计算 LULCC 相关的 NPP 转移强度。NPP 转移强度  $I$  ( $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ) 计算如下:

$$I_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_\Sigma} \times (NPP_i - NPP_j) \quad (2)$$

其中,  $I_{ij}$  表示  $i$  地类向  $j$  地类的 NPP 转移强度,  $S_{ij}$  表

示  $i$  地类向  $j$  地类的转移面积,  $S_\Sigma$  表示  $j$  地类的总面积,  $NPP_i$  和  $NPP_j$  分别表示  $i$  地类和  $j$  地类的 NPP 均值。

### 4. 结果分析

#### 4.1. NPP 变化

统计广州市不同土地利用覆被类型的 NPP 均值载于表 1。混交林、常绿阔叶林、灌丛的 NPP 均值较高, 农用地与草地的 NPP 均值较低。

在 2001~2006 年的快速城市化时期, 广州市年均 NPP 变化结果如图 2 所示, NPP 均值从  $336.6 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  下降到  $273.2 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 平均变化率为  $-0.55$ 。根据线性回归拟合结果, 广州市 NPP 总体呈现下降趋势。2003 年是转折点, NPP 值在此由上升变为下降趋势, 按照公式(1), 逐像元计算 2001~2003 年、2003~2006 年前后两阶段 NPP 变化率。2001~2003 年 NPP 的平均增长率为 0.13; 2003~2006 年 NPP 的下降率为 0.75, 增长幅度小于下降幅度。NPP 总体变化率与 NPP 均值拟合结果一致, 均说明后阶段明显的下降趋势。

根据广州市 NPP 空间分布图(图 3)可知, NPP 高值主要分布在广州增城市 and 南沙区边缘, 约在 500~

Table 1. Average of NPP with different vegetation types in Guangzhou  
表 1. 广州市不同植被类型 NPP 均值

编码	土地利用覆被	NPP 均值(gC·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
1	常绿针叶林	388
2	常绿阔叶林	446
3	混交林	456
4	灌丛	415
5	木本草地	398
6	草地	317
7	农用地	367
9	农田森林过渡带	373

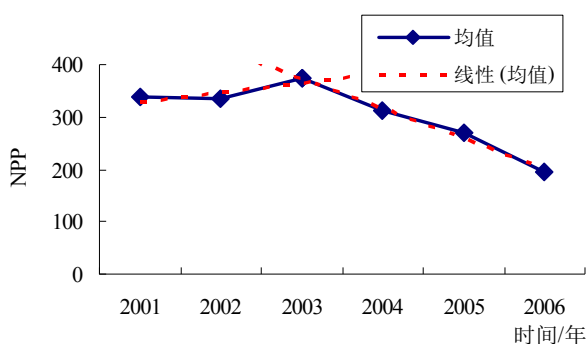


Figure 2. Fitting line of NPP average from 2001 to 2006  
图 2. 2001~2006 年 NPP 均值拟合图

750 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 广州大部分地区 NPP 值居中, 为 250~500 gC·m<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 略高于广州北部从化山区, 2003 年这一格局特征较为突出。而在 2006 年 NPP 值下降, 增城、广州中部、南部均出现明显下降。

#### 4.2. 广州市土地利用覆被变化

对应 NPP 变化的前后两阶段, 广州市土地利用覆被转移矩阵分别见表 2 和表 3。通过对比每个地类转出的行总和面积和转入的列总和面积说明每个地类的面积增减, 而表中元素则说明各地类之间的相互转变情况, 其中较为明显的转变包括: 1) 前阶段(表 2)中常绿针叶林面积减少主要转向混交林, 在后阶段(表 3)则转向灌丛并导致灌丛地类面积的增加; 2) 前阶段常绿阔叶林减少主要转向木本草地; 3) 前阶段灌丛和木本草地及多数地类都转化为农用地和农田森林过渡带, 后阶段常绿针、阔叶林和草地都持续减少并主要转为农田森林过渡带。这些变化均证明高覆盖的针阔叶森林受到破坏和砍伐之后, 转为灌丛和木本草地, 而一部分灌丛和木本草地则转为农用地和农田森林过渡带。

土地利用覆被变化将导致 NPP 变化, 在前阶段地类的变化导致了部分 NPP 低值地类向 NPP 高值地类转换, 如常绿针叶林向常绿阔叶林和混交林转换, 但

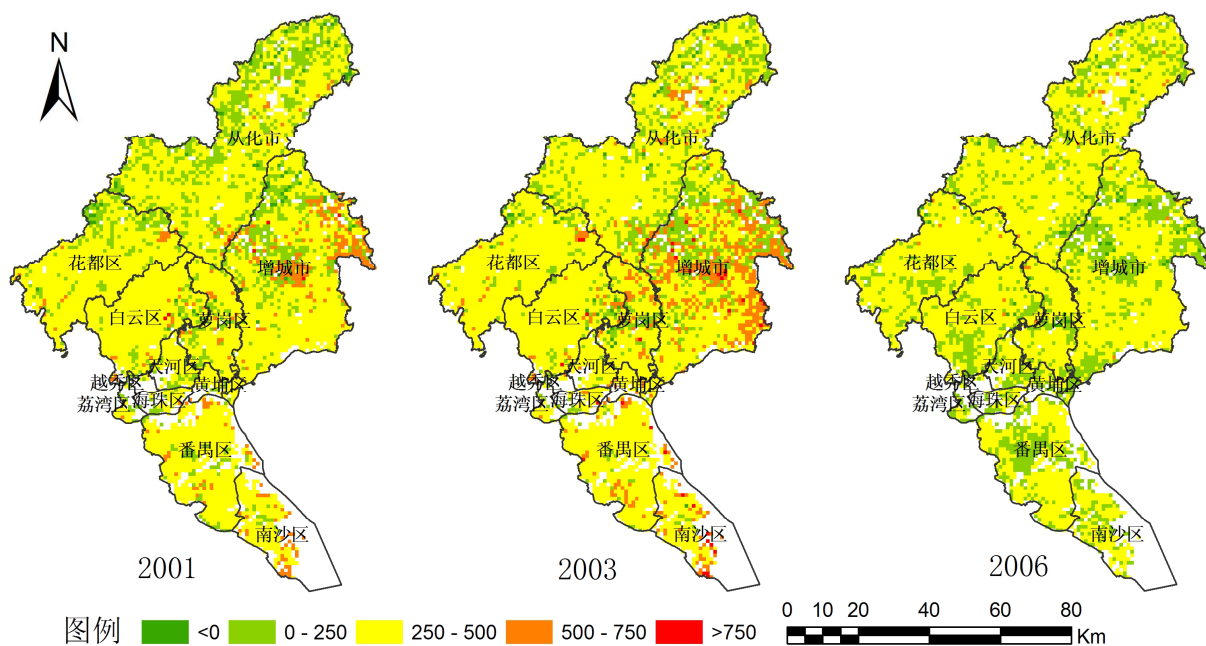


Figure 3. NPP spatial distribution in Guangzhou in 2001, 2003 and 2006  
图 3. 2001、2003 和 2006 年广州市 NPP 空间分布图

**Table 2. Land use/land cover transfer matrix in 2001-2003**  
**表 2. 2001-2003 年土地利用覆被转移矩阵**

2003 \ 2001	常绿 针叶林	常绿 阔叶林	混交林	灌丛	木本 草地	草地	农用地	农田森林 过渡带	总计 (km <sup>2</sup> )
常绿针叶林		18	32	6	3	1	7	3	70
常绿阔叶林			13		26		12	9	60
混交林	3	17		3	4	3	20	7	57
灌丛	5		6		3	2	27	1	44
木本草地	1	19	6	2		6	29	20	83
草地	3	7	2	1	7		25	4	49
农用地		10	3		39	15		67	134
农田森林过渡带		18	3		31	2	69		123
总计(km <sup>2</sup> )	12	89	65	12	113	29	189	111	

**Table 3. Land use/land cover transfer matrix in 2003-2006**  
**表 3. 2003-2006 年广州市土地利用覆被转移矩阵**

2006 \ 2003	常绿 针叶林	常绿 阔叶林	混交林	灌丛	木本 草地	草地	农用地	农田森林 过渡带	总计 (km <sup>2</sup> )
常绿针叶林		18	7	44	2		1	5	77
常绿阔叶林	19		27		3	1		1	51
混交林	11	1		6	12		3	3	36
灌丛	23	3	2		11	14	1	16	70
木本草地	8	6	6	3		2	3	32	60
草地	1	1		8	20		12	89	131
农用地				2	11	2		7	22
农田森林过渡带			1	19	16	72	6		114
总计(km <sup>2</sup> )	62	29	43	82	75	91	26	153	

总体上主要的地类变化是 NPP 高值地类向 NPP 低值地类的转换，如针阔叶林到灌丛再到农用地的变化。因此，广州市经济的快速发展，城市化水平的提高，土地利用覆被类型间的转换加剧，建设用地扩张占用耕地，再通过草地、灌丛甚至是林地来完成土地复垦实现保持农耕用地的平衡性，因此在后阶段表现出明显的 NPP 下降趋势。

### 4.3. NPP 转移强度

如公式(2)所述，转移强度应用植被 NPP 均值与转入的各类面积比例乘积来描述土地覆被变化的影响。以常绿针叶林为例，把面积不变地区的 NPP 视为自身的自然变化，而转入常绿针叶林的 NPP 转移强度比例则反映 LULCC 驱动的 NPP 变化量。按此方法统

计得到 LULCC 驱动的 NPP 转移强度比例如图 4 所示，比较发现下述几个结论：1) 除常绿针叶林、农田森林过渡带外，后阶段其他地类 LULCC 驱动强度高于前阶段相应值，常绿阔叶林、混交林、木本草地、农用地较为明显；2) NPP 转移强度指示下的 LULCC 影响地类分为三种，影响较明显地类包括草地、农用地和农田森林过渡带，有一定影响的地类如灌丛、木本草地和混交林，影响最不明显地类如针阔叶林两种林地。这种现象与城市建设用地扩张的趋势符合，先占用城市周边的农用地和农田森林过渡带，而后复垦灌丛、木本草地和混交林甚至山区的针阔叶林地来弥补被占用的农用地。同时也证明广州郊区的常绿针叶林虽然遭到破坏，但面积小不是 NPP 总体下降的主要原因，而灌丛、木本草地和混交林这些高 NPP 均值的地



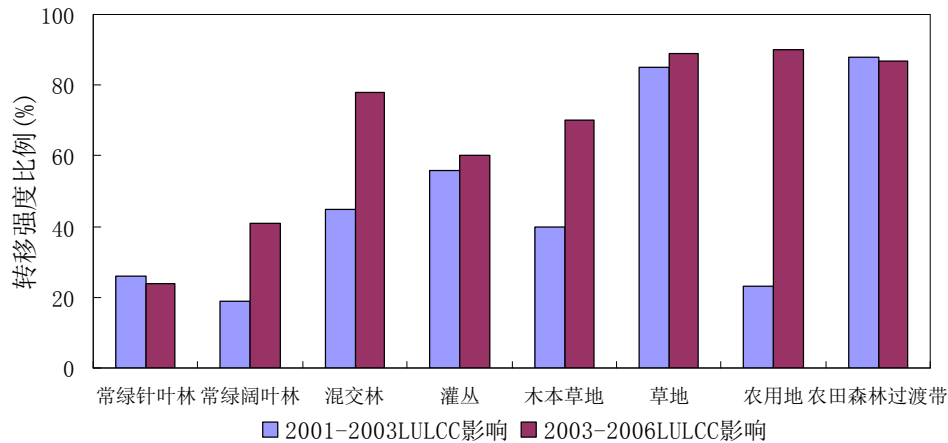


Figure 4. Transfer intensity histogram of NPP driven by LULCC  
图 4. LULCC 驱动的 NPP 转移强度比例柱状图

类转为低值 NPP 地类, 可能将导致持续的 NPP 下降。因此应该要保护灌丛、木本草地和混交林, 特别是对于具有较高碳周转率的混交林。刘海桂<sup>[18]</sup>等人对广东森林植被净初级生产力的研究也验证了这个结论。

## 5. 结论和讨论

本研究分析 2001~2006 年广州城市植被 NPP 空间变化特征及 LULCC 对其影响, 得出以下结论:

1) 应用 MODIS NPP 数据和 TM 土地利用分类结果开展空间分析, 可获取广州市快速城市化阶段 NPP 的空间分布格局及土地利用覆被动态。广州市不同地区 NPP 总量和土地利用覆被变化均存在明显差异。城区及近郊的 NPP 分布在  $250\sim 500\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 山区 NPP 分布在  $500\sim 750\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。总体呈现出 2001~2003 年以 0.13 速率增长而后在 2003~2006 年以 -0.75 的速率下降的趋势。

2) 通过估算 LULCC 驱动的 NPP 转移强度, 清晰指示各地类相互转移对广州市植被 NPP 的影响。该影响与城市建设用地扩张密切相关, 先占用城市周边的农用地和农田森林过渡带, 而后复垦灌丛、木本草地和混交林甚至山区的针阔叶林地来弥补被占用的农用地。研究证明显著影响 NPP 的地类转移包括从灌丛、木本草地和混交林到农用地的变化, 由这些 NPP 高值的地类转为 NPP 低值地类, 是导致 NPP 下降的主要原因。因此应该要保护灌丛、木本草地和混交林, 特别是对于具有较高碳周转率的混交林, 这将为广州市低碳经济与区域可持续发展提供科学依据。

## 6. 致谢

感谢国家自然科学基金(No. 41101152)和华南师范大学研究生科研创新基金资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 朱志辉. 我国自然植被生产力功能和地带性结构的气候耦合[J]. 地理学报, 1996, 51(S1): 66-72.
- [2] 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.
- [3] 王宗明, 国志兴, 宋开山等. 1982~2003 年东北地区植被覆盖变化特征分析. 中国地理学会 2008 年学术年会, 长春, 2008: 261-262.
- [4] C. B. Field, M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson, et al. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 1998, 281(5374): 237-240.
- [5] 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, 1: 36-45.
- [6] 朱文泉, 潘耀忠, 龙中华等. 基于 GIS 和 RS 的区域陆地植被 NPP 估算——以中国内蒙古为例[J]. 遥感学报, 2005, 9(3): 300-307.
- [7] S. Piao, J. Fang, P. Ciais, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, 458(7241): 1009-1013.
- [8] 周涛, 史培军. 土地利用变化对中国土壤碳储量变化的间接影响[J]. 地球科学进展, 2006, 2: 138-143.
- [9] 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[J]. 资源科学, 2009, 3: 493-500.
- [10] F. Chiew, P. Whetton, T. McMahon, et al. Simulation of the impacts of climate change on runoff and soil moisture in Australian catchments. *Journal of Hydrology*, 1995, 167(1): 121-147.
- [11] S. Y. Schreider, A. Jakeman, A. Pittoc, et al. Estimation of possible climate change impacts on water availability, extreme flow events and soil moisture in the Goulburn and Ovens Basins, Victoria. *Climatic Change*, 1996, 34(3-4): 513-546.
- [12] 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, 4: 581-591.
- [13] 刘军会, 高吉喜. 气候和土地利用变化对中国北方农牧交错带植被覆盖变化的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2016-2022.
- [14] 吴雅冰, 谢荣华, 肖斌等. 广州城市化与经济相关性的

## 广州市植被净初级生产力对土地覆被变化的时空响应特征

- 研究[J]. 珠江经济, 2008, 7: 62-68.
- [15] 广州年鉴汇编委员会. 广州年鉴[M]. 广州: 广州年鉴出版社, 2011: 4-5.
- [16] 广州地方志编译委员会. 广州市志[M]. 广州: 广州出版社, 1998: 42-49.
- [17] 龚建周, 夏北成. 广州市 1990~2005 年植被覆盖度的时空变化特征[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1289-1294.
- [18] 刘海桂, 唐旭利, 周国逸等. 1981~2000 年广东省净初级生产力的时空格局[J]. 生态学报, 2007, 10: 4065-4074.