

文章编号: 1000-5471(2012)03-0105-08

# 基于 RS 的城市绿地及其固碳能力演变研究

## ——以重庆市主城区为例<sup>①</sup>

王冬生<sup>1</sup>, 况明生<sup>1</sup>, 张小军<sup>2</sup>, 苏康传<sup>1</sup>

1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆地质矿产研究院, 重庆 400042

**摘要:** 利用重庆市 Landsat TM 数据, 采用归一化植被指数(NDVI)、归一化建筑指数(NDBI), 提取重庆主城区绿地、建设用地等地类信息, 结合区位商理论和 citygreen 储碳模型计算了重庆主城各区 2000、2003 和 2007 年绿地率区位商、绿地年固碳量和固碳率。结果分析表明: 2000 年到 2007 年重庆主城区绿地面积、建设用地面积、绿地年固碳量均有不同程度增长, 年均增长率分别为 3.7%、13.2% 和 7.6%; 绿地大体呈现以渝中区为极低中心, 周边组团城区为较高起伏边缘的盆状空间格局; 绿地固碳能力基本与绿地格局一致, 且固碳能力增幅大于绿地面积增幅。研究认为, 城市建设等人类活动影响城市绿地的增减, 而绿地面积和绿地结构组成是影响绿地固碳能力的主要因素。

**关键词:** 绿地; 归一化植被指数; 归一化建筑指数; 植被分类; 固碳; citygreen 模型; 区位商

**中图分类号:** TP97

**文献标志码:** A

世界许多城市正遭受着因绿地积存量不足而带来的消极影响<sup>[1]</sup>。城市绿地一直是城市研究的热点领域之一。随着城市化的加快, 绿地成为衡量城市宜居与否的重要指标。绿地在调节城市局地环境方面的作用越来越受到相关研究者的重视<sup>[2]</sup>。国内外各相关学科也就城市绿地的提取、分类方法, 绿量预测, 环境效应, 景观格局等方面开展了大量的研究工作。目前用于绿地检测的植被指数类型已有百种之多, 其中 NDVI 是应用于绿地分类较为普遍的植被指数之一<sup>[3]</sup>。美国林学家协会的 Citygreen 模型是针对城市生态环境空间分析和环境效益评价的优秀工具<sup>[4]</sup>。归一化建筑指数(NDBI)是在归一化植被指数的基础上演化而来, 用于提取地面建筑物和裸地的有效方法。目前最主要用于城市建筑地物和城市热量反演。本研究是在现有研究的基础上利用归一化植被指数(NDVI)反映城市植被分布, 用归一化建筑指数(NDBI)提取城市建成区面积, 并以为此基础数据提供给 citygreen 储碳模型和区位商模型, 估算城市绿地的碳储量和绿地率区位商, 从而为研究快速城市化过程中绿地、绿地固碳能力的时空演变规律提供依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究路线

利用归一化植被指数, 归一化建筑指数, Citygreen 储碳模型, 区位商模型等方法 and 理论提取城市的绿地面积、建设用地面积, 计算城市绿地年固碳能力和城市绿地率区位商等来研究城市的绿地格局及其碳储变化特征。技术流程图如图 1:

### 1.2 归一化植被(NDVI)的提取与植被分类

归一化植被指数(NDVI)又称标准化植被指数, 在使用遥感进行植被研究以及植物物候研究中得到广泛应用, 是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子, 与植物分布密度、生物量呈线性相关<sup>[5-6]</sup>。具体计算公式如下:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

① 收稿日期: 2011-04-17

作者简介: 王冬生(1986-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要从事资源与环境信息系统的研究。

通信作者: 况明生, 博士, 硕士生导师。

式中:  $IR$  为遥感多波段图像中的近红外波段的反射值,  $R$  为红光波段的反射率,  $NDVI$  的取值范围为:  $[-1, 1]$ , 负值表示地面覆盖为云、水、雪等, 对可见光高反射; 0 表示有岩石或裸土等, 0 以上表示有植被存在, 且数值越大表明植被信息量越高, 大数值区域一般代表森林等高植被覆盖区域<sup>[7-8]</sup>.

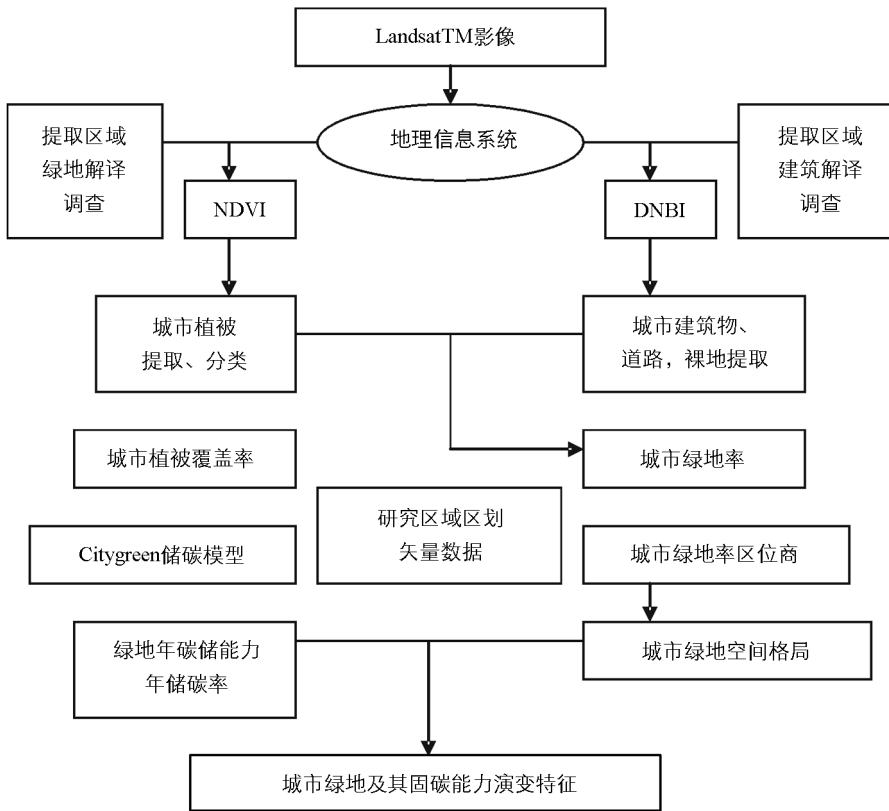


图 1 研究技术流程图

### 1.3 归一化建筑指数(NDBI)计算与建筑区提取

NDBI 是查勇等仿归一化植被指数基础上提出的, 它可以较为准确地反映建筑用地信息, 数值越大表明建筑用地比例越高, 建筑密度越高<sup>[9]</sup>. 计算公式如下:

$$NDBI = \frac{MIR - IR}{MIR + IR}$$

式中:  $IR$  表示近红外波段的反射率,  $MIR$  表示中红外波段的反射率.  $NDBI$  的取值范围  $[-1, 1]$ ,  $NDBI$  的高值区反映的下垫面是建筑物和硬化路面, 建筑密度高. 中值区一般表示为林地. 水域和耕地表现为低建筑指数<sup>[10]</sup>. 为了保证建筑提取精度, 对提取出的  $NDBI$  图像采用监督分类方法, 可以较好的确定建筑与非建筑部分<sup>[10]</sup>.

### 1.4 Citygreen 储碳模型

Citygreen 是 1996 年美国林学家协会推出的基于 GIS 的城市生态环境分析系统. 目前主要用于局域生态效益的研究<sup>[4]</sup>. 软件的主要功能是使用最新的科学研究成果计算城市林木等植被的经济价值, 然而分析现存的条件并能对不同的发展和规划目标区域的影响构造模型<sup>[11]</sup>.

储碳模型是局域分析的一个模块. 绿地年固碳能力计算要求研究区域的面积、树冠覆盖率和树木直径分布状况或者树龄分布要求为已知<sup>[4]</sup>. 这里只借鉴按树龄划分并指定一定区域中树木的分布类型. 分布类型 I 为幼龄树的分布类型, 分布类型 II 为相对老树的年龄分布类型, 分布类型 III 为所有龄级的树木均衡分布类型. 大区域的估算可以利用各个林龄平均分布来计算. 模型假定拥有老树的区域比拥有幼树的区域储存较多的碳并拥有较低的年储碳率. 储碳模型计算林木的储碳能力和固碳率的计算方法如下:

$$C_s = S \times F \times N_s \quad (1)$$

$$C_r = S \times F \times N_r \quad (2)$$

式中:  $C_s$  和  $C_r$  分别代表年储碳能力(T)和年固碳率,  $S$  为区域面积( $\text{km}^2$ ),  $F$  为区域的林木覆盖率,  $N_s$  和  $N_r$  分别是林木的储碳因数和固碳因数<sup>[11]</sup>.

表1 按数目年龄种群分布类型确定的储碳因数和固碳因数<sup>[4,12]</sup>

林分类型(树龄/a)	储碳因数 $N_s$	固碳因数 $N_r$
类型 I (<10 a)	0.322 6	0.007 27
类型 II (>10 a)	0.442 3	0.000 77
类型 III (全部)	0.539 3	0.001 53
各林龄数木平均分布	0.430 3	0.003 35

### 1.5 城市绿地率区位商

根据区域经济研究中的区位商理论,结合城市区域绿地与建筑的空间分布关系提出区域绿地率区位商,判断城市区域内绿化的相对发展水平<sup>[13-14]</sup>。

首先是要计算城市总绿地率即市区范围内总绿地面积与总建筑占地面积的商,城市绿地率的计算公式和绿地率区位商的计算如下:

$$G = \frac{S_{NDVI}}{S_{NDBI}} \times 100\% \quad (3)$$

$$R = \frac{G_p}{G_a} \quad (4)$$

式中:  $R$  为城市绿地率区位商;  $G$  为城市绿地率,即单位建筑用地面积的绿地量;  $S_{NDVI}$  为利用 NDVI 提取分类出的有效绿地面积;  $S_{NDBI}$  为提取的有效建筑区域和裸地的有效面积。城市中不同区域的绿地率  $G_p$  和城市总的绿地率  $G_a$  的商即该区域的绿地率区位商,城市绿地率区位商可以反映城市绿地的区域特征以及绿地与建筑的相互关系。

## 2 研究区域与数据处理

### 2.1 研究区域与数据来源

研究区域为重庆主城区(以下称主城区)。主城区地处四川盆地东缘,川东丘陵地带的平行谷中,以山地为主,气候属亚热带湿润季风气候,年平均气温 18℃左右,植被茂盛,平均植被覆盖率在 30.05%(2006年)左右,城市空间结构为组团式城市。2000年以来,城市化加速,同时主城范围内的绿地覆盖率增加明显。因此对重庆城市绿地的空间变化的研究有助于从宏观上把握城市绿地的发展动态。

研究所需的 landsat TM 数据来自中国科学院科学数据库(巴南区影像暂缺)<sup>[15]</sup>,行列号分别为 128-39 和 128-40,解译调查主要利用 2007 年主城区 2.5 m 分辨率航测图。

### 2.2 数据处理

#### 2.2.1 植被信息和建筑物信息的提取

利用主城区 TM 影像数据提取 NDVI,并运用高分辨率遥感影像和林业调查数据进行监督分类,由于影像空间分辨率为 30 m,故 NDVI 指数所指示的绝大部分为面积约 0.09 hm<sup>2</sup> 的绿地。根据 NDVI 值的特征和 citygreen 模型需将植被按照林龄或树径大小分三大类,第一类为高植被区即 NDVI 高值区,一般为林场,森林公园等高树龄、高郁闭度的区域;第二类为 NDVI 中值区域,经调查一般为中低龄树,郁闭度较低区域,但也具有较高的生物量;第三类为幼林、农田、稀疏灌丛等生物量较少,植被覆盖低的区域也是 NDVI 值较低的区域。通过对重庆市北碚区,沙坪坝区、渝北区等遥感数据的多次分类实验和树龄、植被分布等调查,决定以表 2 的植被指数数值段为参照进行监督分类,根据分类用密度分割法分类提取相应绿地类型<sup>[16]</sup>。

表2 植被指数监督分类参照表

类型	NDVI	土地利用类型	航片影像 目视解译	林分 类型	景观 类型	地貌	ROI 数量
高植被区 (类型 I)	0.32-1.0	林地	森林	中、近 熟林	森林 公园绿地	山顶 沟谷区	11
中植被区 (类型 II)	0.17-0.32	林地、 城市绿地	林地 灌木林	中、幼林	绿化林 片林	山坡、 山前丘陵区	10
低植被区域 或耕地	0.05-0.17	有林地 菜地,耕地	耕地,稀疏 草地等	幼林地 无林地	农田、 灌丛	低缓丘陵 平坝区	32

注:表中分类为经验分类,类型 I 和类型 II 对应表 1。

同样,可以利用 NDBI 数据结合目视解译提取出建筑、道路,裸地等信息。通过分类实验,当 NDBI > 0.2 的区域为建筑和裸地区域。NDVI 和 NDBI 能够突出植被和建筑等重要信息,结合目视解译提高了分

类的精度,达到了较好的分类效果.

表 3 是重庆主城区 2000,2003 和 2007 年的分类结果,数据表明主城区的绿地面积逐年增加的趋势明显,其中高龄林区面积持续增加,中低龄林区面积则呈下降的趋势.主城区建筑和裸地的提取结果反映了 2000 年以来主城区空间的扩张,这在主城边缘区县表现得较为明显.

表 3 基于 NDVI 和 NDBI 提取主城区的绿地和建筑面积表

城区	年份	高龄林区面积/km <sup>2</sup>	中低龄林区面积/km <sup>2</sup>	绿地面积/km <sup>2</sup>	建筑、裸地面积/km <sup>2</sup>
北碚区	2000	51.810	418.900	470.710	66.270
	2003	236.590	389.100	625.690	89.200
	2007	413.900	281.580	695.480	227.770
渝中区	2000	1.276	0.080	1.356	9.187
	2003	1.860	3.170	5.030	16.134
	2007	1.678	4.774	6.452	14.781
渝北区	2000	139.328	939.080	1078.409	141.591
	2003	650.851	596.837	1247.688	143.026
	2007	886.140	402.715	1288.855	186.425
南岸区	2000	5.355	117.870	123.225	20.237
	2003	74.383	103.140	177.523	19.680
	2007	97.450	76.893	174.343	64.067
江北区	2000	2.616	101.746	104.362	23.927
	2003	68.056	89.833	157.889	100.403
	2007	89.926	74.744	164.669	126.443
沙坪坝区	2000	36.906	195.097	232.003	33.823
	2003	62.131	182.478	244.609	34.923
	2007	108.763	207.785	316.548	36.367
九龙坡区	2000	82.694	205.137	287.831	29.529
	2003	111.529	165.934	277.463	47.579
	2007	145.857	164.766	310.623	134.008
大渡口区	2000	1.978	43.033	45.011	12.464
	2003	23.188	43.998	67.186	12.354
	2007	22.474	40.919	63.393	12.270
主城区	2000	321.964	2 020.943	2 342.906	337.028
	2003	1 228.588	1 574.490	2 803.078	463.299
	2007	1 766.188	1 254.175	3 020.364	802.132

### 2.2.2 Citygreen 城市绿地储碳量计算

通过计算城市绿地年固碳量和固碳率,进而能够把握城市绿地固碳的动态变化规律.利用已提取的遥感数据和公式 1 和公式 2 计算的重庆城市绿地年碳储量,年固碳率如表 4 所示.

表 4 主城区 2000 年和 2003 年与 2007 年固碳量

城区	2000 年		2003 年		2007 年	
	固碳量/t	固碳率	固碳量/t	固碳率	固碳量/t	固碳率
北碚区	158.053	0.699	230.167	2.020	273.906	3.226
渝中区	0.590	0.009	1.845	0.016	2.282	0.016
渝北区	364.572	1.736	480.411	5.191	521.856	6.752
南岸区	40.393	0.130	66.173	0.620	67.908	0.768
江北区	33.980	0.097	59.081	0.564	63.886	0.711
沙坪坝区	79.262	0.419	86.348	0.592	115.137	0.951
九龙坡区	29.529	0.759	47.579	0.939	134.008	1.187
大渡口区	12.464	0.048	12.354	0.202	12.270	0.195

### 2.2.3 绿地率区位商计算

绿地率区位商的计算需要先按照式3计算主城各区的绿地率,然后根据式5计算出各区的区位商,通过区位商来分析绿地的区域竞争力及城市绿地均质的分布特征,因此绿地率区位商对绿地具有区域指示作用。

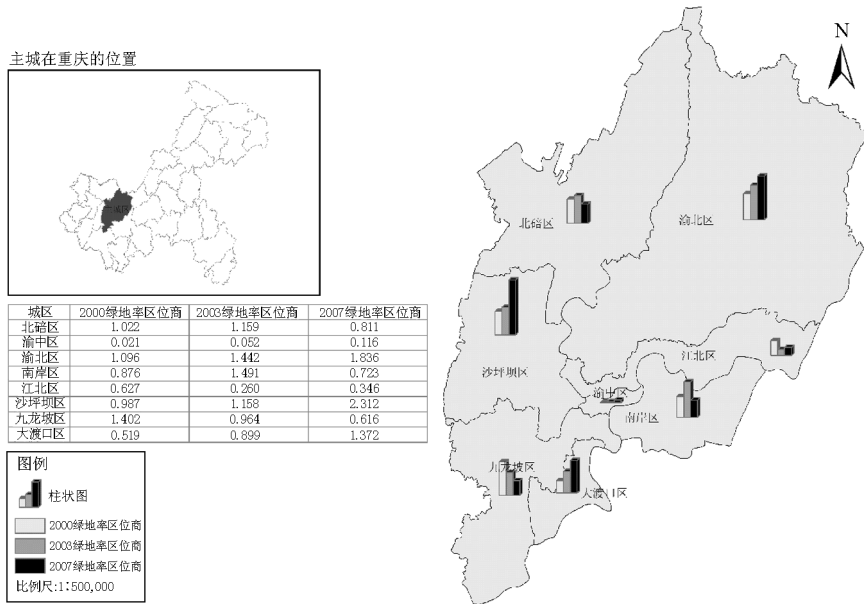


图2 主城各区绿地率区位商柱状图

## 3 结果分析

### 3.1 重庆主城区绿地空间格局及其演变

#### 3.1.1 绿地面积空间演变分析

重庆市主城区绿地空间分布由于受地形和城市发展空间制约,总体格局呈现出以渝中区为极低中心,其他组团区县为外围起伏边缘的盆状格局。从提取的绿地数据可见,2000到2007年,重庆市主城区的绿地面积由约2342.91 km<sup>2</sup>增加到3020.36 km<sup>2</sup>,净增加绿地677.46 km<sup>2</sup>。增幅达28.9%,年均增长率3.7%。同时城市的建筑用地面积也在快速的攀升,由2000年的337.03 km<sup>2</sup>扩大到2007年的802.13 km<sup>2</sup>,增幅约138%,年均增速13.2%,城市建设用地的增速大于绿地的增速。由此可见,城市绿地与城市建设用地的不平衡。

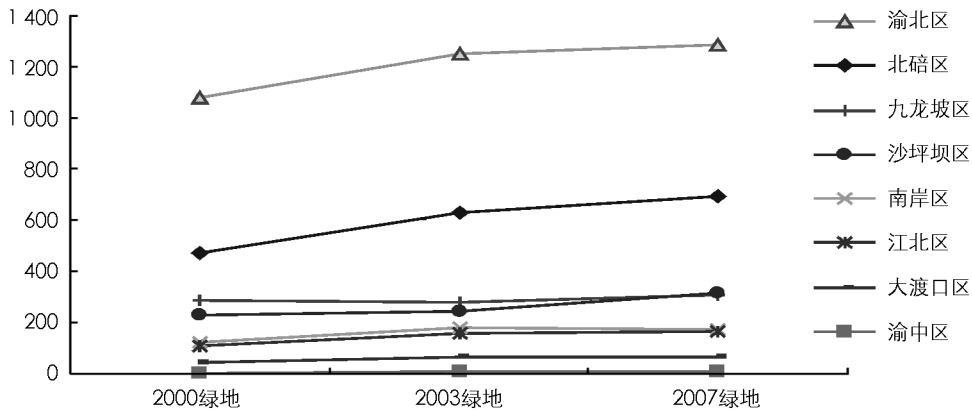


图3 主城各区绿地面积变化折线图

数据显示,总绿地面积大都与行政区域面积呈正比。渝北区的绿地面积居首,并且一直保持着绿地面积的增加势头(如表3、图3)。主要原因在于,渝北区行政区域面积最大,绿地分布拥有更大的空间面积,而且城市开发相对较晚,减缓了对原有植被的破坏。渝中区作为主城区绿地盆状格局的中心区,拥有最小的总绿地面积,其一是渝中区面积较小,限制了绿地发展的空间,其二渝中区开发最早,人口密集,挤压了

绿地发展空间,其主要的绿地是面积狭小的城市公园和街道绿化带.然而渝中区的绿地面积变化幅度较其他城区是最大的,从2000年到2007年绿地面积翻了5倍,这表明渝中区的城市绿化建设成效显著.北碚区作为主城的后花园,拥有高的绿地保有量,是主城绿地覆盖率较高的地区之一.绿地面积变化不明显;绿地的构成变化的主要特点是中低龄林区的面积持续减少,高龄林区的面积不断扩大.这表明北碚区的绿地质量取得优化.即由中低龄林为主体,高龄林为辅的绿地结构发展成为高龄林占主体的绿地结构.江北区、南岸区、九龙坡区、沙坪坝区、大渡口区等保持了城市绿地的稳步发展,共同特点是绿地面积有不同程度的增加,绿地组成结构发展均衡,部分城区存在反弹迹象.其中大渡口区绿地面积在2003年的影像分析中约 $67.186\text{ km}^2$ ,却在2007出现了下降,绿地提取面积为 $63.39\text{ km}^2$ ,究其原因,大渡口区城市空间扩张压缩了绿地空间致使城市绿地面积出现下滑.

### 3.1.2 绿地率、区位商演变分析

从绿地的面积上判断城区绿地的存在形态,通过绿地率区位商理论模型可以评估主城区绿地的空间状况.区位商理论认为,区域内某要素部门的区位商的值大于等于1时,该区域在该要素部门方面具有较高的优势<sup>[9]</sup>.

2000年到2007年,渝北区和沙坪坝区的绿地率区位商均大于等于1(见图4),这表明两城区的绿地率居于主城区前列,绿地优势明显.沙坪坝区2007年的绿地率区位商已经突破了数值2达到了2.312,这表明2007年沙坪坝区的城市绿地率在主城区的优势地位凸显,沙坪坝区绿地面积的增长速率大于建设用地的增速;渝中区的绿地率区位商一直处于极低的水平,略有微升,这反映了渝中区城市的绿地率较低的现状,并且这种现状没有发生改变.主要原因是:其一,渝中区特殊的地理位置造成用于改善城市绿地的空间不大;其二,人工植被短期内难以形成高的绿地覆盖率.2000年到2007年九龙坡区的绿地率区位商持续下降,城市绿地率的优势大幅下滑,一方面城市绿地持续减少,另一方面是城市建筑用地剧增迫使九龙坡的绿地率的快速下降.南岸区和江北区的绿地率区位商变化却存在很大反差,即南岸区的绿地率区位商先升后降,江北区的绿地率区位商先降后升.南岸区和江北区毗邻渝中区,为主城的重要组成部分,属城市空间扩张的重点区域,城市绿地率的反差表明城市绿化建设落后于城区建设.江北区的整体绿地率落后于南岸区,根据重庆市城市统计年鉴的相关资料,江北属于新区,城市扩建规模、开始时间都在南岸区之后.2003年以后江北的城市绿化建设已见成效,绿地率区位商出现反弹.而南岸区的城区扩建因为滞后于江北区出现了2003年以后的绿地率区位商的下降.北碚区的绿地率区位商在1上下徘徊,可见北碚区的城市绿化水平较高,优势一般但相对稳定.特别需要指出的是北碚区绿地区位商的小幅变动同样可以反映出建设用地和城市绿地的相对变化,由此可以推测北碚区的城区扩张时间开始于2003年左右.大渡口区的绿地率区位商在匀速的上升,由1攀升到1.327,成为主城绿地率较高的城区.

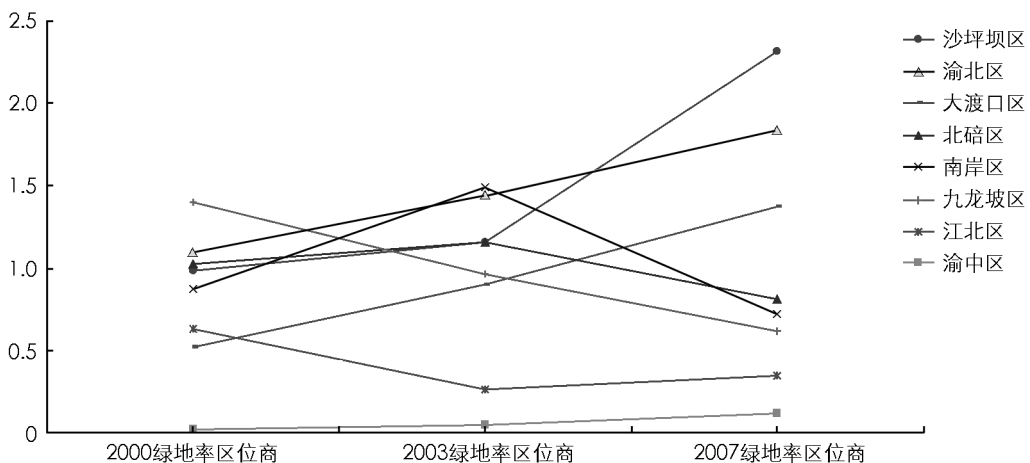


图4 主城各区绿地率区位商变化趋势图

## 3.2 重庆主城区绿地固碳能力分析

根据 citygreen 模型,城市拥有大面积的绿地系统增加了生物固碳的基础,因而拥有较大的固碳潜力.另一方面是绿地结构组成、绿地类型也在很大程度上影响绿地固碳能力.

主城各区绿地固碳能力随着绿地动态变化而波动,总体上固碳能力不断提高、部分区域有较大增幅图(图5).绿地面积的持续增加促使主城各区年固碳能力和固碳率的增长.绿地结构的变化,特别是绿地内

部林木的生长加速了这种趋势。从表4可见年固碳率同年固碳量基本一致,主城各区的年固碳率的变化和年固碳量呈正相关。年固碳量与年固碳率都反映了年固碳能力。

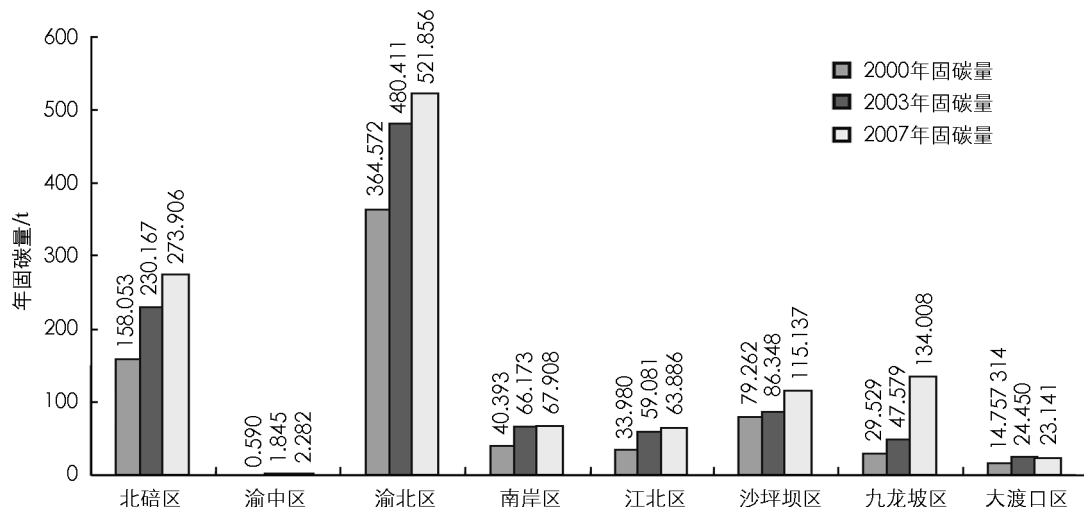


图5 citygreenn模型下的重庆主城区绿地年固碳能力

分析的8个城区中,渝北区相对其他城区拥有更多的绿地总量,这使得渝北区绿地的年储碳能力远大于其他城区。形成鲜明对比的是渝中区,由于其区域面积小,其年储碳量微乎其微,这表明绿地面积是决定城市碳储量的主要因素。然而绿地面积并非决定性因素,北碚区、九龙坡区、沙坪坝区的区域面积相差不大,北碚区的绿地储碳能力却大于其他区域。北碚区绿地覆盖率较高,同时北碚区的绿地构成中,高龄森林的面积都超过其他城区(见表3),这是北碚区绿地年固碳能力相对较高的原因之一,这也反映了绿地固碳能力同绿地结构的紧密关系。九龙坡区年固碳能力显著的变化是2003年以后出现了增长高峰,达到年固碳能力约134 t。这得益于绿地面积增加与绿地结构变化的贡献其中最主要的是绿地结构上的变化,高龄绿地的面积增加了约63 km<sup>2</sup>。南岸区与江北区在固碳能力上步调基本一致,2007年年固碳能力分别为67.9 t和63.9 t,差异性不明显。大渡口区的固碳能力随着绿地面积的减少而下降。

## 4 结 论

### 4.1 重庆主城区绿地时空演变特点

主城区绿地在空间上表现为以渝中区为极低中心,其他组团城区为起伏边缘的盆状结构。各城区绿地面积和绿地结构各异,城区面积制约绿地面积,距城市中心区越近的城区,建筑面积越大,绿地存量越小,城市的绿地区位商越小。其中以渝北区,北碚区、沙坪坝区、九龙坡区有较大的绿地面积,江北区、南岸区、大渡口区次之,渝中区最小。

主城区绿地在时间上总体呈现出绿地总面积持续增加,局部稍有下降,整体绿地结构优化明显。通过数据分析,从2000年到2007年主城8个区的绿地面积增加了约678 km<sup>2</sup>,绿地面积、建筑裸地和的年均增长率为3.7%,13.2%。绿地结构上,高龄绿地面积增加快,中低龄绿地总体下降,大量的中低龄绿地转变为高龄绿地。在绿地与建筑的相互关系上,各城区绿地率区位商差异很大。其中持续增长的有渝中区、渝北区、沙坪坝区、大渡口区。先升后降的有北碚区、南岸区,先降后升的有江北区,持续下降的有九龙坡区。

### 4.2 重庆主城区绿地固碳能力时空演变特点

主城区绿地年固碳能力同绿地的时空变化密切相关,2003年到2007年绿地年固碳年均增长率为7.6%,绿地固碳能力的增幅大于绿地面积的增幅。主城各区绿地固碳能力基本与绿地格局一致,渝北区、北碚区固碳能力较高,沙坪坝区,江北区、南岸区、九龙坡区紧随其后,大渡口区、渝中区最低。根据citygreen模型,绿地面积是绿地固碳能力的决定性因素,绿地面积越大,城市固碳能力就越高,反之城市的固碳能力就会受到影响。绿地的结构组成是影响绿地固碳能力的重要因素。因此为了提高城市绿地的生态效益,在扩大绿地的总面积,增加城市绿地覆盖率的同时,还要选择有固碳优势的绿地类型,例如多栽植生长速度快,多年生的高大乔木类型,做好绿地规划与管护,提高城市绿地的储碳能力,改善城市环境。

## 参考文献:

- [1] ELIZABETH HIU, JEFFERY H, DORFMAN. Evaluating the Impact of Government Land Use Policies on Tree Canopy Coverage [J]. *Land Use Policy*, 2010(27): 407—414.
- [2] JIM C Y, CHEN WENDY Y. Ecosystem Services and Valuation of Urban Forests in China [J]. *Cities*, 2009(26): 187—194.
- [3] MARGARET BRYANT M. Urban Landscape Conservation and the Role of Ecological Greenways at Local and Metropolitan Scales [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006(76): 23—44.
- [4] 范文义. 资源与环境信息系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 167—170.
- [5] NATHALIE PETTORELLI, JON OLAV VIK. Using the Satellite-Derived NDVI to Assess Ecological Responses to Environmental Change [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20(9).
- [6] 邓书斌, 武红敢, 江 涛. 基于 PCA/NDVI 的森林覆盖遥感信息提取方法研究 [J]. *国土资源遥感*, 2007(2): 82—85.
- [7] WANG Quan, JOHN TENHUNEN, NGUYEN QUOC DINH. Similarities in Ground- and Satellite-Based NDVI Time Series and Their Relationship to Physiological Activity of a Scots Pine Forest in Finland [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004(93): 225—237.
- [8] 汤国安, 张顺友, 刘咏梅, 等. 遥感数字图像处理 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 陈志强, 陈健飞. 基于 NDBI 指数法的城镇用地影像识别分析与制图 [J]. *地球信息科学*, 2006(6): 138—1407.
- [10] 秦 鹏, 陈健飞. K—L 变换与 NDBI 指数法提取 ASTER 影像城市用地信息的比较 [J]. *测绘与空间地理信息*, 2008, 31(5).
- [11] American Forests: CITYgreen <http://www.americanforests.org/productsandpubs/citygreen/>.
- [12] 彭立华, 陈 爽, 刘云霞, 等. Citygreen 模型在南京城市绿地固碳与削减径流效益评估中的应用 [J]. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1293—1298.
- [13] 李小健. 经济地理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [14] 许继琴, 金贤锋. 我国区域层面产业集群识别方法研究——区位商法的改进 [J]. *科技进步与对策*, 2009, 26(20): 163—164.
- [15] 中国科学院科学数据库, <http://www1.csdb.cn>.
- [16] 卫亚星, 王莉雯, 刘 闯. 基于 MODIS NDVI 时序数据的青海省草地分级 [J]. *资源科学*, 2008(5): 1007—7588.

## A Remote Sensing-Based Research about the Evolution of City Greenbelts and Their Carbon Sequestration Ability ——A Case Study in Chongqing Main City Zone

WANG Dong-sheng<sup>1</sup>, KUANG Ming-sheng<sup>1</sup>,  
ZHANG Xiao-jun<sup>2</sup>, SU Kang-chuan<sup>1</sup>

1. School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;  
2. Chongqing Institute of Geology, Chongqing 400700, China

**Abstract:** Landsat TM image data and NDVI and NDBI were used to extract the information about the areas of city greenbelts, bare land and construction land. Using the location quotient theory and the citygreen model in combination, the location quotient of the greenbelts of Chongqing main city zone and its annual carbon sequestration amount and annual carbon sequestration rate in 2000, 2003 and 2007 were calculated. The results showed that the areas of city greenbelts and construction land and their carbon sequestration ability increased to different extents from 2000 to 2007, with an average annual growth rate of 3.7%, 13.2% and 7.6%, respectively. In spatial-temporal distribution, the city greenbelt exhibited a basin-shaped structure, with Yuzhong District at the bottom, surrounded by a zigzagging circle. The carbon sequestration ability of the greenbelts was correlated with their spatial-temporal pattern and the increase extent was greater than that of their acreage. It is concluded that human activities impact the growth of greenbelt area, and the changes in the acreage and composition of greenbelts are the main factors influencing their ability of carbon sequestration.

**Key words:** greenbelt; NDVI; NDBI; vegetation classification; carbon sequestration; citygreen model; location quotient