

基于RS和GIS的深圳市土地利用/覆被变化及碳效应分析

裴杰^{1,2}, 王力¹, 柴子为³, 扶卿华⁴, 牛铮¹

(1. 中国科学院 遥感与数字地球研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049; 3. 广东省环境监测中心, 广州 510308; 4. 珠江水利委员会 珠江水利科学研究院, 广州 510611)

摘要: 基于多时相遥感影像数据, 结合能源消费数据和相关经验数据, 利用RS和GIS技术分析了2005—2013年广东省深圳市土地利用/覆被变化情况及其导致的碳效应变化。结果表明: 近9a来深圳市土地利用变化十分显著, 作为区域内最大碳汇的林地面积下降14.96%, 净减少量为11 524.32 hm², 而最大碳源的建设用地面积上升23.26%, 净增加量高达18 565.39 hm², 其他用地类型如耕地、草地、水域面积分别减少37.17%, 31.98%, 11.56%, 未利用地面积增加713.28%; 从方向性来看, 9a内研究区土地转移过程中既有生态正向演变, 也同时存在生态逆向演变过程。既有耕地的非农化, 也包括建设用地的复垦退出, 整体呈现非单向性的复杂特征; 从数量特征来看, 林地是最大的转出者, 耕地次之, 而建设用地是最大的接收者; 基于碳效应测算模型, 计算得出研究区近9a来土地利用/覆被变化造成的碳排放增量超过碳吸收增量高达85.41万t, 说明人为活动和自然因素共同作用下的土地利用格局变化直接影响着区域碳循环过程, 深圳市低碳城市建设目标面临严峻挑战。

关键词: 土地利用变化; 遥感; GIS; 碳排放; 深圳市

中图分类号: TP79; F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)03-0227-07

Land Use/Cover Change and Carbon Effect in Shenzhen City Based on RS and GIS

PEI Jie^{1,2}, WANG Li¹, CHAI Ziwei³, FU Qinghua⁴, NIU Zheng¹

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Guangdong Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510308, China; 4. Pearl River Hydraulic Research Institute, Pearl River Water Resources Commission, Guangzhou 510611, China)

Abstract: Based on the multi-temporal remote sensing images, combined with energy consumption data and relevant empirical data, RS and GIS technologies were employed to analyze the land use/cover change and its impact on carbon cycle in Shenzhen City, Guangdong Province from 2005 to 2013. Results show that land use in Shenzhen City has undergone a remarkable change in the recent 9 years. The area of forest land, the largest carbon sink in the region, has decreased by 14.96%, and its net reduction is 11 524.32 hm². In contrast, construction land, the largest carbon source, its area has increased by 23.26%, and its net increase reaches up to 18 565.39 hm². As for other land use types such as cultivated land, grassland and water area, their areas have reduced by 37.17%, 31.98% and 11.56%, respectively, while unutilized land area has been boosted by 713.28%. In the aspect of direction, the process of land conversion within study area in the recent 9 years includes both positive ecological evolution and adverse ecological evolution. Besides, it also comprises non-agriculturalization of cultivated land together with reclamation and exit of construction land. In general, land conversion process shows complicated characteristics of non-unidirectionality. From the perspective of numerical characteristics, forestland is the largest contributor in area transfer, followed by cultivated land, while construction land is the largest acceptor. Based on the carbon effect calculation model,

收稿日期: 2016-05-13

修回日期: 2016-06-06

资助项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2014AA06A511); 国家科技重大专项(高分专项)(20-Y30B17-9001-14/16); 国家自然科学基金面上项目(41371358)

第一作者: 裴杰(1993—), 男, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 研究方向为全球变化遥感。E-mail: peijie_radi@foxmail.com

通信作者: 王力(1981—), 男, 河北邢台人, 博士, 副研究员, 主要从事全球变化遥感研究。E-mail: wangli@radi.ac.cn

we estimate that, caused by land use/cover change in study area in the recent 9 years, carbon emission increment has outnumbered carbon absorption increment by 854 100 tons. The fact reflects that land use pattern change under the influence of human activities and natural factors directly affects regional carbon cycle. Thus, Shenzhen City has to confront a severe challenge in low-carbon city construction project.

Keywords: land use change; remote sensing; GIS; carbon emission; Shenzhen City

由大气中 CO_2 浓度增加所导致的全球气候变暖加剧,已引起世界各国政府和科研工作者的关注。有资料测算到 2011 年,大气 CO_2 含量已经高达 391 mg/kg ,为第一次工业革命即 1750 年以前的 1.4 倍^[1]。已有研究表明,土地利用/覆被变化在 1850—1990 年所造成的碳排放占据人类活动总影响的 1/3,仅次于化石能源燃烧^[2]。与此同时,中国在过去的 50 多年里,由土地利用变化所导致的碳排放高达 $1.06 \times 10^{10} \text{ t}$,为同期人为影响下碳排放总量的 30%,占据世界各国土地利用/覆被变化导致的碳排放总量的 12%^[3]。研究区域范围内土地利用/覆被变化和碳排放之间的耦合关系,已经成为众多相关领域学者研究的热点问题。国外学者早在 20 世纪 80 年代,就已经开展土地利用结构变化对陆地生态系统碳循环方面影响的研究工作。例如,Houghton^[4]展开了过去 135 年间陆地碳库的变化研究;Koerner 等^[5]以美国凤凰城为研究区,对于旱城市环境下 CO_2 人为排放源(主要是土地利用变化)和自然源展开了研究;Ali 等^[6]以巴基斯坦拉合尔都市区为例,评估了碳排放、能源利用以及土地利用变化三者之间的内在关系。我国关于土地利用变化的碳效应研究晚于西方国家,但近些年也取得了丰硕的研究成果。这些研究主要集中于农田^[7]、森林^[8]、草地^[9]等典型陆地生态系统碳效应研究,以及不同空间尺度上的碳效应研究,包括全国尺度^[10]、省域尺度^[11-16]、市县尺度^[17-20]等。

根据国际能源署的测算资料,2007 年中国能源燃烧导致的温室气体排放占据同期全球总量的 1/5,超过美国,成为第一大温室气体排放国。面对国际社会与日俱增的碳减排压力,中国国家发改委于 2010 年下发了《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》,广东省被列为首批国家低碳试点区域之一^[21]。次年,中国启动碳交易试点,深圳市成为 7 个试点城市之一。为了进一步转变经济发展方式,坚持优先发展低碳经济,深圳市于 2012 年出台了《深圳经济特区碳排放管理若干规定》。作为广东省改革开放之后最先发展起来的新型城市,深圳市地处珠江三角洲核心经济圈,近年来人为活动影响下的土地利用变化显著,由此带来的碳减排任务相当严峻。现有研究所采用的土地利用/覆被数据大多来源于地方统计资

料,而这些资料往往不能及时更新,应用性有待进一步提高。遥感技术以其宏观性、实时性的优势,可以用来研究区域土地利用结构及其变化。本文以广东省深圳市为研究区,借助卫星遥感影像解译得到的土地利用数据,结合 GIS 技术对 2005—2013 年近 9 a 来土地利用变化格局,以及由此引起的碳排放效应进行研究,以期为深圳市土地利用结构合理配置和低碳城市建设提供理论依据。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

深圳市地处中国东南沿海,毗邻香港,位于珠江口东岸,地理坐标介于东经 $113^{\circ}46'$ — $114^{\circ}37'$,北纬 $22^{\circ}27'$ — $22^{\circ}52'$ 。深圳属亚热带海洋性气候,温润宜人,降水量充沛。境内拥有多条水系,海洋资源非常丰富,常年平均气温为 22.4°C ,平均年降雨量达 $1\,933.3 \text{ mm}$ 。全市土地总面积为 $1\,991.64 \text{ km}^2$,仅占广东全省面积的 1%。全市现下辖 6 个行政区与 4 个新区,分别为盐田区、龙岗区、罗湖区、福田区、南山区、宝安区、光明新区、龙华新区、坪山新区、大鹏新区。深圳自 2010 年 7 月 1 日起,将经济特区范围延伸到全市。截至 2013 年末,全市常住人口 $1\,062.89$ 万人,其中户籍人口仅 310.47 万人。作为珠江三角洲经济圈的核心城市之一,深圳市经济发展迅速,城镇化率高达 100%。2013 年,深圳市国内生产总值达到 $14\,500.23$ 亿元,仅次于省会广州市,人均 GDP 更是位居全省第一。然而,近年来区域内城市建设用地占用农用地现象比较突出,经济发展所带来的土地利用类型转变及其环境效应十分显著。因此,开展土地利用变化及碳排放效应研究具有一定的现实迫切性,有助于探索实现深圳市低碳化城市建设的可持续发展模式,同时可为其他同类城市提供一定的借鉴意义。

1.2 数据来源及影像解译

本文选取多时相遥感影像数据,作为研究深圳市土地利用/覆被变化的主要数据来源,遥感数据分别为 2005 年中巴地球资源卫星 02 星(CBERS-02)CCD 数据和 2013 年美国陆地卫星 Landsat 8 OLI 数据。其中,CBERS-02 CCD 多光谱相机包含 5 个波段,分

别为 $B_1(0.45 \sim 0.52 \mu\text{m})$, $B_2(0.52 \sim 0.59 \mu\text{m})$, $B_3(0.63 \sim 0.69 \mu\text{m})$, $B_4(0.77 \sim 0.89 \mu\text{m})$, $B_5(0.51 \sim 0.73 \mu\text{m})$, 空间分辨率达到 19.6 m, 幅宽 113 km, 重复观测周期为 26 d^[22], 此数据由卫星地面接收站购买所得。Landsat 8 陆地成像仪 OLI 包括 8 个空间分辨率为 30 m 的多光谱数据和 1 个分辨率为 15 m 的全色波段, 成像幅宽 185 km, 重返周期为 16 d^[23], 此数据从美国地质勘探局 USGS 官方网站(<http://glovis.usgs.gov/>)免费下载得到。

根据解译需要, 对获取的卫星遥感影像用 ENVI 4.8 软件进行辐射定标、几何校正、大气纠正、波段合成、图像镶嵌等预处理工作。由于 Landsat 8 OLI 发布的数据产品已经进行了几何校正, 无需重复操作。

具体影像解译过程如下: 由于同一类型地物的影像特征在不同地域不同时间是不同的, 为保证解译工作的精度, 必须首先建立不同时相的遥感影像资料土地利用类型解译标志数据库。利用 ArcGIS 9.3 软件进行目视解译, 对照土地利用类型遥感解译标志库, 对遥感影像上的各种地物进行判读与勾画, 最终得到两时相土地利用现状矢量数据, 可以作为土地利用/覆被变化定量计算的依据。同时, 室内解译成果需进行野外核查。具体过程为: 抽取不同地物类型的样本, 以及勾画地物边界到实地进行验证, 对错判误判的斑块进行修正, 并对室内判读困难的地块进行实地考察, 标注类型, 同时完善补充土地利用类型遥感解译标志数据库, 提高室内判读精度。根据野外核查结果统计所得, 研究区土地利用/覆盖的解译总体精度可达 85% 以上的区域占全市陆地面积的 90%。其中一级分类解译精度较高, 二级分类解译精度稍低。

本研究中, 土地利用/覆被数据采用全国土地二级分类系统^[22]进行分类: 一级分为 6 类, 包括耕地、林地、草地、水域、建设用地(即城乡、工矿、居民用地)及未利用土地; 二级分为 26 个子类型。出于研究的需要, 本文直接采用一级分类, 深圳市 2005 年和 2013 年的土地利用/覆被类型矢量图。另外, 深圳市耕地、林地和草地的碳效应系数来源于已公开发表的文献资料, 而用于计算建设用地碳排放系数的能源消费数据来源于《深圳市统计年鉴 2014》。

2 研究方法

2.1 土地利用变化

在借鉴前人研究的基础上, 本文尝试采用多参数综合评价的方法, 量化描述深圳市近 9 a 来土地利用变化的数量和方向, 为碳效应的测算做好准备工作。

2.1.1 土地利用动态度指数 土地利用动态度指数

主要用于计算某土地利用类型变化的数量值, 同时也可用来估计未来若干年内土地利用变化趋势^[24]。其计算公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a \times T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为研究区一定时间范围内的土地利用动态度指数, 取值 $[-1, 1]$, 百分数表示; U_b, U_a 分别为某种土地利用类型在研究时段结束和开始时的面积; T 为研究年数。

2.1.2 土地利用变化重要性指数 土地利用变化重要性指数主要用于筛选出研究区主要的土地利用变化类型, 该指标值越大, 则对应的土地利用类型越占主导地位^[25]。该指标计算公式如下:

$$D_i = \frac{A_i}{A} \quad (2)$$

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \quad (3)$$

式中: D_i 为第 i 种土地利用/覆被类型的土地利用变化重要性指数, 其值为 $0 \sim 1$; A_i 为第 i 类土地利用/覆被变化面积; A 为研究区一定时间段内的所有土地利用变化面积总和。

2.1.3 土地利用程度综合指数 土地利用程度综合指数主要用来定量测算研究区在特定时期内的土地利用综合程度, 不同时段该指数的变化可以反映研究区土地利用综合程度的变化趋势^[26]。该指标的计算公式如下所示:

$$M = 100 \times \sum_{j=1}^n B_j \times P_j \quad (4)$$

式中: M 为研究区某一时段的土地利用程度综合指数, 取值区间为 $[100, 400]$; B_j 为研究区内第 j 级土地利用程度分级指数; P_j 为研究区内第 j 级土地利用程度分级面积百分比; n 为土地利用程度分级数, 见表 1。

表 1 土地利用程度分级指数^[26]

土地利用/覆被类型	分级指数
未利用土地	1
草地、水域	2
林地、耕地	3
建设用地	4

2.1.4 土地利用类型转移矩阵 土地利用类型转移矩阵主要通过建立二维矩阵的形式, 分析研究时段内研究区各土地利用/覆被类型转变的方向。具体操作为: 采用 ArcGIS 10.0 软件对 2005 年、2013 年两个时段的土地利用/覆被类型数据进行交叉分析(Arc-Toolbox->Analysis Tools->Overlay->Intersect), 接着运用 Excel 作数据透视表处理, 得到 2005—2013 年深圳市土地利用类型转移矩阵。

2.2 碳效应测算模型

本文在参考前人研究^[27]的基础上,通过建立碳效应测算模型来定量地计算深圳市 2005—2013 年土地利用/覆被变化导致的碳效应变化值。需要明确的是,这里的碳效应变化值仅指转换型^[28]的土地利用/覆被变化导致的碳效应,即由土地利用/覆被变化导致的生态系统类型更替所带来的碳排放或吸收。对于渐变型的土地利用/覆被变化(如森林、草地退化等),因相关研究数据的不足,本文没有考虑在内。深圳市碳效应测算模型的计算公式如下:

$$C=\sum S_{i,j}\times T_{i,j}\tag{5}$$

式中:C为深圳市 2005—2013 年土地利用/覆被变化总碳效应(万 t); $S_{i,j}$ 为第 i 种土地利用类型转换为第 j 种土地类型的面积(hm^2); $T_{i,j}$ 为第 i 种土地利用类型转换为第 j 种土地类型时碳效应系数的变化值。

2.3 碳效应系数的确定

根据方精云等^[29]的解释,碳汇为固定碳量大于排放碳量的生态系统,反之则该生态系统为碳源。本文据此将深圳市土地利用/覆被类型分为碳源和碳汇两种。建设用地(即城乡、工矿、居民用地)因城镇聚居区取暖、工矿用地的工艺排放等过程存在大量的能源消费,属于土地利用的间接碳排放^[17],因此归为碳源。尽管耕地上的作物在生育期期间会通过光合作用固定一定的碳,但是在短期内又会释放到大气中,因此不考虑其碳汇功能。有研究^[7]将农业化肥、农业机械使用和灌溉等农业生产活动的投入所排放的碳视为耕地主要碳排放途径,本文采用同样的处理,因而耕地也属于碳源。根据当前的研究,林地和草地一致地被视为典型的碳汇。水域和未利用地因其所占面积很小,碳汇能力很弱,故本文不作研究。

2.3.1 碳汇系数的确定 林地和草地作为深圳市主要的碳汇类型,对于区域碳平衡起着至关重要的作用。但由于缺少相关试验数据的支持,本文采用和大多数研究相同的处理,即根据方精云等^[29]所测得的中国区域内森林和草地植被碳汇值,作为深圳市林地和草地碳汇系数的参考。林地碳汇系数为 $-0.57\text{ t}/\text{hm}^2$,草地碳汇系数为 $-0.021\text{ t}/\text{hm}^2$ (负号表示碳吸收)。

2.3.2 碳源系数的确定 根据高奇等^[30]在前人研究的基础上,对全国农业生产碳排放系数进行科学合理的修正得到深圳市农业生产碳排放系数 $0.079\text{ t}/\text{hm}^2$ (正号表示碳排放),本文也将耕地的碳源系数设为该值。由于当前我国尚且缺乏碳排放量的直接监测数据,绝大多数的相关研究都是采用间接估算法,即利用生产生活中各种化石能源的消费量、各种化石能源转换为标准煤的转换系数和对应的碳排放系数

间接估算建设用地碳排放量^[13-14]。本文借鉴间接估算法,计算深圳市建设用地碳排放总量,这里的化石能源是指原油、原煤、汽油、柴油、煤油、燃料油、天然气和液化石油气等深圳市主要的 8 种生产生活所需能源。具体计算公式如下:

$$E_c=\sum e_i=\sum \alpha_i\times\delta_i\times\theta_i\tag{6}$$

式中: E_c 为深圳市建设用地总碳排放量; e_i 为第 i 种化石能源碳排放量; $\alpha_i,\delta_i,\theta_i$ 分别为第 i 种化石能源年消耗量(以 2013 年数据为准)、第 i 种化石能源转换为标准煤的转换系数以及对应的碳排放系数。其中,各种化石能源标准煤转换系数和对应的碳排放系数分别参考《中国能源统计年鉴》、IPCC《国家温室气体排放清单指南》(2006 年),详见表 2。

表 2 深圳市主要化石能源消耗量、标准煤转换系数和碳排放系数

能源种类	年消耗总量	标准煤转换系数	碳排放系数
原煤	4027458.78 t	0.7143 kg/kg	0.7559
原油	153864.15 t	1.4286 kg/kg	0.5857
汽油	82605.1 t	1.4714 kg/kg	0.5538
煤油	1523.77 t	1.4714 kg/kg	0.5714
柴油	195743.85 t	1.4571 kg/kg	0.5921
燃料油	5111.96 t	1.4286 kg/kg	0.6185
液化石油气	19552.05 t	1.7143 kg/kg	0.504
天然气	2567277200 m ³	1.33 kg/m ³	0.4483

由公式(6)和表 2 的相关数据计算得出,2013 年深圳市建设用地碳排放总量为 4 092 917.85 t,该值除以深圳市 2013 年建设用地面积($98\ 369.46\text{ hm}^2$),即得出深圳市建设用地碳源系数为 $41.61\text{ t}/\text{hm}^2$ 。通过以上分析和计算,确定了深圳市不同土地利用/覆被类型碳效应系数,见表 3。

表 3 深圳市主要土地利用/覆被类型碳效应系数

土地利用/覆被类型	碳源系数	碳汇系数
耕地	0.079	—
林地	—	-0.570
草地	—	-0.021
建设用地	41.61	—

注:负号表示碳吸收,—表示不考虑。

3 结果与分析

3.1 深圳市近 9 a 土地利用/覆被变化分析

3.1.1 变化幅度分析 为定量分析深圳市近 9 a 来土地利用/覆被变化情况,本文对每种土地利用类型的面积及比例变化,以及土地利用动态度指数、土地利用变化重要性指数、土地利用程度综合指数进行科学计算,结果见表 4。

表 4 2005—2013 年深圳市土地利用/覆被变化

土地利用 类型	2005 年		2013 年		面积变化/ hm ²	面积变化 比例/%	土地利用动 态指数/%	土地利用变化 重要性指数/%
	数量/hm ²	比例/%	数量/hm ²	比例/%				
耕地	16939.43	9.15	10643.04	5.80	−6296.39	−37.17	−4.65	16.21
林地	77051.08	41.63	65526.76	35.71	−11524.32	−14.96	−1.87	29.67
草地	5335.92	2.88	3629.29	1.98	−1706.63	−31.98	−4.00	4.39
建设用地	79804.07	43.12	98369.46	53.61	18565.39	23.26	2.91	47.80
水域	5934.75	3.21	5248.95	2.86	−685.80	−11.56	−1.44	1.77
未利用地	8.96	0.00	72.83	0.04	63.87	713.28	89.16	0.16

2005—2013 年深圳市土地利用类型整体呈现“4 减 2 增”的特点,即耕地、林地、草地、水域面积减少,建设用地和未利用地面积增加。与 2005 年相比,2013 年深圳市耕地面积净减少 6 296.39 hm²,减少幅度达 37.17%;林地面积净减少 11 524.32 hm²,减少幅度为 14.96%;草地面积净减少 1 706.63 hm²,减少幅度达 31.98%;水域面积净减少 685.80 hm²,减少幅度为 11.56%;建设用地面积净增加 18 565.39 hm²,增加幅度仅为 23.26%;未利用地的净增加量仅为 63.87 hm²,但增加幅度超过 700%。各类土地利用指数计算结果显示,未利用地的动态度高达 89.16%,而其土地利用变化重要性指数仅为 0.16%,

表明尽管绝对增幅最大,但未利用地并不是该区域土地利用变化中主要的土地类型。相反地,建设用地动态度仅为 2.91%,但其重要性指数达到 47.80%,表明建设用地是深圳市土地利用变化中最重要的土地类型。根据土地利用程度综合指数计算结果,2013 年综合指数值(348.69)高于 2005 年(337.02),表明深圳市 9 a 来土地利用综合水平得到一定程度的提升。

3.1.2 变化方向和强度分析 为了进一步研究深圳市 2005—2013 年土地利用类型变化方向,利用 Arc-GIS 10.0 和 Excel 软件制作了 2005—2013 年深圳市土地利用类型转移矩阵(表 5)。

表 5 深圳市 2005—2013 年土地利用类型转移矩阵分析

时间	土地利用 类型	2013 年						hm ²
		耕地	林地	草地	建设用地	水域	未利用地	
2005 年	耕地	10315.16	269.25	208.87	5913.04	196.88	20.87	
	林地	222.56	64298.63	32.08	11643.43	580.93	47.89	
	草地	6.08	364.80	3360.08	1475.63	124.60	3.82	
	建设用地	41.11	526.38	25.98	78407.24	71.55	0.25	
	水域	58.05	66.08	2.18	924.48	4274.81	0.00	
	未利用地	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00	0.00	

由表 5 可以看出,深圳市 2005—2013 年土地利用变化整体呈现一种土地类型向多种其他类型转变的特征。具体分析如下:

(1) 耕地向林地、草地和建设用地转换是其面积减少的主要原因,分别占据耕地变化面积的 4.07%,3.16%,89.47%,耕地向建设用地转换面积(5 913.04 hm²)占建设用地增加面积(18 565.39 hm²)31.85%,建设用地侵占农田现象比较突出,区域城镇化过程加快。耕地向林/草地的转变是生态正向演变过程,可显著增强陆地生态系统碳汇功能^[27]。

(2) 林地向耕地、建设用地、水域转换面积分别占林地变化总面积(11 524.32 hm²)的 1.78%,92.95%,4.64%。林地向耕地转变属于生态逆向演变,一定程度上反映了人类行为的农业活动。而林地转变为建设用地的面积(11 643.43 hm²)占建设用地增加总面积的 62.72%,即林地转换是建设用地面积增加的最大来源。

(3) 草地向林地和建设用地转变是其面积减少的最主要原因,分别占草地变化面积的 18.47%,74.72%。草地向林地转变,体现了植被在自然状态下的恢复过程,或者人文因素驱动下的植树造林等生态建设工程,同样属于生态正向演变。

(4) 建设用地主要表现为向林地转变,仅为 526.38 hm²。建设用地复垦退出一定程度上会提高区域碳汇水平,但是其绝对转换量仅占建设用地增加面积的 2.84%。

(5) 水域和未利用地的主要转出类型皆为建设用地,转换面积分别为 924.48,3.10 hm²。

总体上看,林地是最大的转出者,耕地次之,而建设用地是最大的接收者。表明随着深圳市近些年来经济社会的发展,城市建设用地的需求不断增加,耕地和林地面积大幅缩小,如何在保证深圳市经济社会平衡快速发展的前提下,加强生态建设,做好耕地保护工作,探索土地利用的低碳发展模式,实现低碳城市建设的目标,已成为当前深圳市可持续发展的重中之重。

3.2 土地利用变化的碳效应分析

土地利用变化对区域碳循环的影响主要通过改变自然碳过程和人为能源消费格局及其组合关系,而引起自然和人为活动碳排放强度的改变来体

现^[20]。本文应用碳效应测算模型,结合相关土地利用数据,估算出 2005—2013 年深圳市主要的 8 种土地利用类型转变所带来的区域碳效应变化(以碳排放增量与碳吸收增量的差值表示),最终的结果见表 6。

表 6 2005—2013 年深圳市主要 8 种土地利用类型转变及其引起的区域碳效应变化

土地利用 转换类型	变化面积/ hm ²	碳汇系数变化值/ (t·hm ⁻²)	碳汇量 变化/t	碳源系数变化值/ (t·hm ⁻²)	碳源量 变化/t	总碳 效应/t
耕地—林地	269.25	-0.65	-174.74	—	—	-174.74
耕地—草地	208.87	-0.10	-20.89	—	—	-20.89
耕地—建设用地	5913.04	—	—	41.53	245574.47	245574.47
林地—耕地	222.56	—	—	0.65	144.44	144.44
林地—建设用地	11643.43	—	—	42.18	491119.91	491119.91
草地—林地	364.80	-0.55	-200.28	—	—	-200.28
草地—建设用地	3360.08	—	—	41.63	139883.41	139883.41
建设用地—林地	526.38	-42.18	-22202.80	—	—	-22202.80
合计	22508.41	—	—	—	—	854123.51

注:负号表示碳吸收,—表示不考虑。

表 6 中所列的 8 种土地利用转换类型占深圳市所有和区域碳循环相关的 12 种土地转换类型面积(22 613.65 hm²)的 99.53%,其结果基本可以解释研究区土地利用变化所带来的碳效应改变。根据表 6 计算结果,2005—2013 年深圳市土地利用/覆被变化带来的碳排放增量高于碳吸收增量达 85.41 万 t。其中,生态系统的正向演变(退耕还林/草、草地转换为林地)以及建设用地复垦退出所造成的碳汇增量达 2.25 万 t。与此同时,生态系统逆向演变(建设用地侵占农用地、林地转换为耕地)所带来的碳排放增量高达 87.67 万 t,约为前者的 39 倍。数据显示,尽管毁林造田导致区域碳排放增加 144.44 t,但仍不及耕地向林地转换所带来的碳汇增量(174.74 t),这主要受益于“退耕还林”生态保护政策的实施。此外,区域新型城镇化、工业化导致建设用地占用耕地所带来的碳排放增量高达 24.56 万 t,占总碳排放增量的 28.01%。

林地作为区域内最大的碳汇,所带来的生态效益非常显著,在低碳城市建设过程中对于碳增汇具有举足轻重的地位,深圳市未来城市发展中,必须坚持贯彻落实“退耕还林”政策,杜绝毁林造田现象。同时,虽然建成区扩张为城市建设提供了最大的发展引擎,但是由此造成建设用地面积急剧增加所带来的大量碳排放,已背离低碳建设的可持续发展道路。因此,在后续的区域发展中,如何解决好城市建设、生态保护和耕地保护三者的协同发展问题,实现可持续发展的绿色低碳经济,是考验深圳市政府和相关科研工作者的一道难题。

4 结论与建议

4.1 结论

(1) 在区域新型城镇化、工业化进程加快的经济

发展大背景下,2005—2013 年深圳市土地利用/覆被变化显著,土地利用变化整体呈现“4 减 2 增”的特点,即耕地、林地、草地、水域面积分别减少 37.17%,14.96%,31.98%,11.56%,建设用地和未利用地面积分别增加 23.26%,713.28%。土地利用变化表明深圳市近 9 a 经济建设是以生态破坏为代价,如何维持城市建设与生态保护二者之间的平衡是深圳市未来城市发展的首要问题。

(2) 碳效应测算模型结果表明,2005—2013 年深圳市土地利用/覆被变化带来的碳排放增量高于碳吸收增量达 85.41 万 t。其中,生态正向演变以及建设用地复垦退出所造成的碳汇增量为 2.25 万 t,而生态逆向演变所带来的碳排放增量高达 87.67 万 t。人为活动和自然因素共同作用下的土地利用格局变化直接影响着区域碳循环,深圳市低碳城市建设目标面临严峻挑战。

4.2 建议

基于以上结论,结合经济新常态和新型城镇化对土地政策的新要求,本文尝试从碳减排和碳增汇两方面针对性提出相关建议,以期建立低碳土地利用体系,为深圳市碳减排工作的顺利开展提供科学参考。

(1) 碳减排方面,深圳市在后续的城市建设中,要严格限制建设用地过度扩展,注重集约节约用地,避免低水平重复建设所带来的碳排放;提升能源使用效率,减少对传统化石能源的过度依赖,集中力量优先发展绿色清洁能源,如风能、太阳能、水能等;加强农田管理,改进施肥、灌溉措施,发展生态农业,减少农田耕作造成的碳排放。

(2) 碳增汇方面,继续大力推进“退耕还林/草”政策,增加深圳市的森林覆盖率,减少人为活动对森

林、草地生态系统的破坏,做好生态保护工作,提升区域碳汇水平。

虽然本文通过科学的方法和模型估算了深圳市近9 a土地利用/覆被变化导致的碳效应,但仍存在需要进一步完善的地方。具体表现在:(1)由于缺少野外实测数据,林/草地和耕地的碳效应系数直接采用前人的经验数据,没有考虑到土地利用的复杂性和空间异质性^[31],研究结果的精度有待进一步提升;(2)本文仅考虑主要的8种“转换型”土地利用变化,不考虑“渐变型”的土地利用/覆被变化所带来的碳效应,造成碳效应估算结果存在一定的误差。在下一步的研究工作中,将着重收集更详实的研究数据,计算符合区域土地利用特性的碳效应系数,提高研究结果精度。

参考文献:

- [1] 温文. IPCC公布第五次气候变化评估报告:超过95%系人为原因[J]. 自然杂志,2013,35(5):325-328.
- [2] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850—1990[J]. Tellus B, 1999,51(2):298-313.
- [3] 许恒周,郭玉燕,陈宗祥. 土地市场发育、城市土地集约利用与碳排放的关系:基于中国省际面板数据的实证分析[J]. 中国土地科学,2013,27(9):26-29.
- [4] Houghton R A. Changes in terrestrial carbon over the last 135 years[M]//The Global Carbon Cycle. Springer Berlin Heidelberg,1993:139-157.
- [5] Koerner B, Klopatek J. Anthropogenic and natural CO₂ emission sources in an arid urban environment[J]. Environmental Pollution,2002,116(S1):45-51.
- [6] Ali G, Nitivattananon V. Exercising multidisciplinary approach to assess interrelationship between energy use, carbon emission and land use change in a metropolitan city of Pakistan[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews,2012,16(1):775-786.
- [7] 赵荣钦,秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报,2007,23(2):1-6.
- [8] 方精云,陈安平. 中国森林植被碳库的动态变化及其意义[J]. 植物学报:英文版,2001,43(9):967-973.
- [9] 方精云,杨元合,马文红,等. 中国草地生态系统碳库及其变化[J]. 中国科学:生命科学,2010(7):566-576.
- [10] 张梅,赖力,黄贤金,等. 中国区域土地利用类型转变的碳排放强度研究[J]. 资源科学,2013,35(4):792-799.
- [11] 叶延琼,章家恩,陈丽丽,等. 广东省1996—2012年农业用地碳汇效应及时空变化特征[J]. 水土保持学报,2014,28(5):139-146.
- [12] 翁应芳,赵翠薇. 贵州省不同土地利用的碳排放效应和时空格局分析[J]. 福建农业学报,2014,29(2):176-182.
- [13] 刘英,赵荣钦,焦士兴. 河南省土地利用碳源/汇及其变化分析[J]. 水土保持研究,2010,17(5):154-157.
- [14] 胡国霞,雷国平,周浩,等. 黑龙江省土地利用变化的碳排放效应研究[J]. 水土保持研究,2015,22(6):287-292.
- [15] 李颖,黄贤金,甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. 农业工程学报,2008,24(2):102-107.
- [16] 苏雅丽,张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J]. 水土保持学报,2011,25(1):152-156.
- [17] 石洪听,穆兴民,张应龙,等. 四川省广元市不同土地利用类型的碳排放效应研究[J]. 水土保持通报,2012,32(3):101-106.
- [18] 刘建,李月臣,曾喧,等. 县域土地利用变化的碳排放效应:以山西省洪洞县为例[J]. 水土保持通报,2015,35(1):262-267.
- [19] 郑欣,程久苗,郑硕. 基于土地利用结构变化的芜湖市碳排放及其影响因素研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):259-262.
- [20] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等. 南京市不同土地利用方式的碳储量与碳通量[J]. 水土保持学报,2012,26(6):164-170.
- [21] 匡耀求,欧阳婷萍,邹毅,等. 广东省碳源碳汇现状评估及增加碳汇潜力分析[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(12):56-61.
- [22] 李玉霞,李丽,郑泽忠. CBERS-02图像在土地利用/覆盖动态监测中的应用[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2006,29(5):627-630.
- [23] 王敏,高新华,陈思宇,等. 基于Landsat8遥感影像的土地利用分类研究:以四川省红原县安曲示范区为例[J]. 草业科学,2015(5):694-701.
- [24] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展,2011,18(1):81-87.
- [25] 罗娅,杨胜天,刘晓燕,等. 黄河河口镇—潼关区间1998—2010年土地利用变化特征[J]. 地理学报,2014,69(1):42-53.
- [26] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996.
- [27] 曾永年,陈晓玲,靳文甦. 近10 a青海高原东部土地利用/覆被变化及碳效应[J]. 农业工程学报,2014,30(16):275-282.
- [28] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京:南京大学,2010.
- [29] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学:D辑,2007,37(6):804-812.
- [30] 高奇,师学义,王子凌,等. 深圳市碳收支与土地利用变化的协整分析[J]. 水土保持研究,2013,20(6):277-283.
- [31] 赵荣钦,刘英,郝仕龙,等. 低碳土地利用模式研究[J]. 水土保持研究,2010,17(5):190-194.