县域土地利用变化的碳排放效应
——以山西省洪洞县为例

刘 建[1,3,4], 李月臣[2,3,4], 曾 喧[5], 唐付平[6]

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 重庆师范大学 职教师资学院, 重庆 400047;
3. 三峡生态环境遥感研究所, 重庆 400047; 4. GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047;
5. 重庆市环境保护信息中心, 重庆 401147; 6. 山东省平原县第三中学, 山东 平原 253100)

摘 要: [目的] 为了分析土地利用变化对碳排放的影响,以洪洞县为例,研究分析县域尺度上土地利用变化的碳排放效应。[方法] 选取 2000,2010 和 2013 年山西省洪洞县遥感影像,通过解译遥感影像,最终获得洪洞县的土地利用数据。采用碳排放估算模型,估算了洪洞县 13 a 不同土地利用变化导致的碳排放效应。[结果] 2000—2013 年洪洞县的碳排放量呈现逐年增长的趋势,期间净碳排放放量共增加了 6.12×10^5 t。作为主要碳源汇——建设用地和林地,二者的面积不断增长,但建设用地带来的碳排放远超过林地所能吸收的量。洪洞县各个乡镇在这 13 a 中的净碳排放空间差异变化明显。[结论] 优化县域土地利用结构,能够有效地减轻碳排放问题。

关键词: 土地利用变化; 遥感; 碳排放

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2015)01-0262-05 **中图分类号**: F301.24

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.048

Effects of County Scale Land Use Change on Carbon Emissions
—Taking Hongdong County of Shanxi Province as an Example

LIU Jian[1,3,4], LI Yuechen[2,3,4], ZENG Xuan[5], TANG Fuping[6]

(1. *College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China*; 2. *Vocational Education Teachers College, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China*; 3. *Institute of Eco-Environment Remote Sensing in Three Gorges Reservoir Region, Chongqing 400047, China*; 4. *Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Municipal Education Commission, Chongqing 400047, China*; 5. *Information of Center of Environment Protection of Chongqing, Chongqing 401147, China*; 6. *NO. 3 Middle School of County, Shandong Province, Pingyuan, Shangdong 253100, China*)

Abstract: [Objective] In order to investigate variations of carbon emission in response to land use changes, this paper analyzed carbon emission influence by land use change taking Hongdong County, Shanxi Province as example on county scale. [Methods] The land use data was obtained based on the interpretation of the remote sensing image of Hongdong County in 2000, 2010 and 2013. And the carbon effect caused by different change of land use about Hongdong County in 13 years was estimated by adopting the carbon emission estimation model. [Results] The carbon emissions presented the trend of increased year by year in Hongdong County and the net carbon emissions was increased 6.12×10^5 t from 2000 to 2013. As the major carbon source and carbon sinks, forest and construction land were in the state of growth, while the carbon emissions caused by construction land far beyond forest carbon absorption. The net carbon emissions space difference change was obvious in each township in the 13 years. [Conclusion] Optimizing the structure of land use can effectively reduce carbon emissions.

Keywords: land use change; RS; carbon emissions

收稿日期:2013-05-17 **修回日期**:2013-08-12

资助项目:重庆市教委科技项目"基于分布式模拟的重庆市气温时空演变特征"(KJ130652); 重庆市博士后特别资助项目"基于多源遥感数据的重庆市森林火灾监测与预警研究"

第一作者:刘建(1989—),男(汉族),四川省遂宁县人,硕士研究生,研究方向为 GIS 与遥感应用。E-mail:liujian_gis@foxmail.com。

通信作者:李月臣(1974—),男(汉族),山东省德州市人,博士,教授,硕士生导师,主要从事资源环境遥感与 GIS 研究。E-mail:liyuechen2008@qq.com。

大气中 CO_2 等温室气体的浓度不断增加,使得全球气温不断升高。而中国近 100 a 来年平均地表气温增加了 0.5～0.8 ℃,比同期全球升温幅度略大[1]。在此背景下,碳循环研究成为科学研究的重点。资料显示,在过去的 150 a 间,土地利用变化所导致的并以 CO_2 的形式向大气中排放的碳占所有人类活动排放量的 1/3 以上[2]。土地利用/覆被变化作为影响陆地碳循环系统的重要因素之一[3],亦引发了各国学者的研究热潮。Hutyra 等[4]以美国西雅图大都市区为例,研究分析了土地覆被变化对陆地碳储量的影响及其与城市扩展的关系;Houghton 等[5]估算了美国 1700—1990 年由于土地利用变化造成的碳排放量;葛全胜等[6]通过重建了历史土地利用数据,研究分析了过去 300 a 中国土地利用变化与碳循环之间的关系;张梅等[7]以分区的形式详细研究了中国的各种土地利用类型转变的碳排放问题;孙贤斌[8]采用碳排放评价模型,评价了安徽省经济圈的碳排放效应;相关的学者也对重庆、上海、武汉和四川广元等地的土地利用变化的碳排放效应进行了研究[9-12]。作为全球研究的热点,了解区域碳排放格局,以及不同土地利用类型的碳排放强度,对碳排放研究具有十分重要的意义。本文结合 GIS 和 RS 技术,以山西省洪洞县为研究区域,从县域尺度研究分析土地利用变化的碳排放效应,旨在为区域土地利用结构优化和减轻碳排放增加带来的环境问题提供一定的参考。

1　研究区概况

洪洞县位于 111°80′—112°50′E,36°15′—36°23′N,地处山西省南部,临汾盆地北端,总面积 1 494 km^2,为晋南面积最大的县。洪洞县全境东、西、北三面环山,汾河自北向南贯穿全境,形成了地势东西高,中部低的河谷盆地地形,全县平均海拔为 430 m 左右。洪洞县属于暖温带半干旱大陆性气候,该地区气候温和,四季分明,年平均温 12.3 ℃,年平均降水量 493.3 mm。洪洞县下辖 9 个镇 7 个乡。2012 年人口调查数据显示,洪洞县总人口为 74.2 万人,其中城镇人口为 26.8 万人。

2　数据处理和研究方法

2.1　数据选取和预处理

数据选取洪洞县 2000,2010 和 2013 年的 Landsat 遥感影像,轨道号为 p126r35。影像选取遵循“时间相近,云量最少”的原则。辅助数据包括洪洞县边界矢量图,1989 年土地利用分类图,野外考察资料和相关统计资料。

数据的预处理包括影像的几何校正,大 0 校正,去云处理和研究区裁剪等。利用 RS 软件,采用监督分类的方法,参考土地分类标准《全国土地分类(过渡期间适用)》,结合研究区土地利用特点,讲研究区分为 6 种土地利用类型,它们分别是耕地(包括水浇地和旱地)、林地、水体、草地、未利用地和建设用地(包括居民点用地、工交用地和其他设施用地等),并结合各类辅助数据,修正分类结果。采用 Kappa 系数对 2000 和 2010 年分类数据进行精度检验,其总体分类精度分别为 85.86%,83.23%,可满足本文研究的精度要求。针对 2013 年土地利用数据变化明显的情况,对其进行单独验证。其方法是利用野外调查数据和 Google Earth 2013 年洪洞县的高分辨率影像对 Landsat 遥感影像的 2013 年分类进行精度验证,总的分类精度为 89.25%,能够满足本文研究要求。

2.2　研究方法

根据 IPCC 的碳排放核算清单,碳排放的途径有多种,其中包括化石燃料的燃烧、工农业生产和土地利用变化等,本文主要研究讨论的是基于土地利用方式变化所导致的碳排放效应。本研究中主要涉及到了耕地、林地、草地、水体、未利用地和建设用地等 6 种土地利用类型的碳排放效应。其中进行碳排放的土地利用类型主要是建设用地和耕地,而能够进行碳吸收的土地利用类型有林地、草地、未利用地、水体。其中耕地因为在农业生产过程中,向大气中排放 CH_4,CO_2,又在农作物生育期不断吸收大气中的 CO_2,故耕地既进行碳排放,也进行碳吸收。

碳排放量估算模型:

$$E=\sum\lambda_i=\sum S_i\cdot\delta_i$$

式中:E——碳排放总量(t);λ_i——第 i 种土地利用方式产生的碳排放量/碳汇量(t);S_i——第 i 种土地利用方式对应的土地面积(hm^2),其中包括耕地、林地、草地、未利用地以及建设用地;δ_i——第 i 种土地利用方式的碳排放(吸收)系数(kg/m^2),其中林地、草地等主要表现为碳吸收的土地利用方式其系数为负。

根据相关研究[13-16],各种土地利用形式的碳排放/吸收系数得以确定。其中耕地、林地、草地、水体和未利用地的碳吸收系数分别为 0.000 7,5.77,0.002 1,0.025 3 和 0.000 5 kg/m^2;耕地和建设用地的碳排放系数则分别为 0.050 4 和 3.607 kg/m^2。另外,结合耕地的碳排放系数和碳吸收系数,可以得出耕地的净碳排放系数为 0.049 7 kg/m^2。

3 结果分析

3.1 土地利用变化分析

利用 ArcGIS 10 软件处理洪洞县 2000—2013 年土地利用数据，通过分类统计，得出了各种土地利用类型的分布面积和分布区域(见附图 21)。

从附图 22 可以看出，6 种土地利用类型中，建设用地主要分布于洪洞县中部地区大槐树镇、明姜镇和赵城镇，农村居民点则是分散于整个洪洞县。林地主要分布于洪洞县东西两侧的霍山和吕梁山。耕地主要分布于中部等相对平坦的地区。草地和未利用地等面积较少则是零星分布于洪洞县各处。洪洞县的水体主要是汾河，其自中部贯穿洪洞县全境。

洪洞县从 2000—2013 年的土地利用变化主要表现为：建设用地和林地面积增加；草地、水体和未利用地面积减少；耕地则表现为先增后减。洪洞县 2000 年的土地利用结构中耕地和未利用地面积占优势，分别为 5.73×10^4 和 2.72×10^4 hm^2，占总面积的 38.39%和 18.24%；2010 年洪洞县的耕地和建设用地占总面积的 69.24%，其面积分别为 6.28×10^4 和 4.05×10^4 hm^2；2013 年洪洞县的土地利用结构仍以耕地和建设用地为主，但是建设用地的面积超过了耕地的面积，成为了面积最高的土地利用类型，其面积为 5.84×10^4 hm^2。对比 2000—2010 年和 2010—2013 年两个时间段：2000—2010 年的 10 a 间耕地的面积增加了 5.48×10^3 hm^2，建设用地增加的量几乎是耕地的 3 倍多，其增加了 1.63×10^4 hm^2，年变化率为 4.02%。未利用地减少了 2.03×10^4 hm^2，年变化率为 29.54%；而在 2010—2013 年的 3 a 间，建设用地和林地增加 1.79×10^4 和 5.66×10^3 hm^2。耕地和未利用地共减少 1.90×10^4 hm^2，年变化率分别为 14.17%和 25.23%。

大部分的土地利用形式在 2000—2010 年 10 a 的土地利用年变化率小于 2010—2013 年 3 a 的土地利用年变化率。结合洪洞县的相关统计数据，2000，2010 和 2013 年研究区的 GDP 分别为 25.84，122.23 和 165.50 亿元。2000—2013 年城镇人口逐渐增加，2012 年的城市化速率 36.14%，远大于 2010 年的城市化速率。因而，也从侧面证明了 2010—2013 年间土地利用变化程程比 2000—2010 年更为剧烈。

3.2 碳排放分析

3.2.1 土地利用的碳排放效应分析 结合研究区的土地利用数据和碳排放估算模型，估算得出研究区的碳排放量如表 1—2 所示。

表 1 2000－2013 年土地利用形式的碳排放量

土地利用类型	2000 年		2010 年		2013 年	
	碳排放量/10^4 t	比重/%	碳排放量/10^4 t	比重/%	碳排放量/10^4 t	比重/%
耕地排放	2.89	3.200	3.16	2.120	2.220	1.040
耕地吸收	－0.04	0.040	－0.04	0.030	－0.030	0.020
草 地	－0.05	0.050	－0.03	0.030	－0.030	0.020
林 地	－100.07	99.890	－128.28	99.930	－160.960	99.960
水 体	－0.01	0.009	－0.01	0.010	－0.010	0.004
未利用地	－0.01	0.014	0.00	0.003	－0.002	0.001
建设用地	87.38	96.800	146.20	97.880	210.660	98.960

注：负值表示地类进行碳吸收过程；正值表示地类进行碳排放过程。

表 2 2000－2013 年碳排放量及其强度

时 间	碳源/10^4 t	碳汇/10^4 t	总碳排放量/10^4 t	净碳排放量/10^4 t	地均碳排放强度/(t·hm^{-2})
2000 年	90.27	100.19	90.27	－9.92	6.05
2010 年	149.36	128.37	149.36	20.99	10.01
2013 年	212.88	161.03	212.88	51.85	14.27
2000—2010 年变化	59.09	28.18	59.09	30.91	—
2010—2013 年变化	63.51	32.66	63.51	30.86	—

由表 1 可以看出，所有的土地利用类型中，林地、草地、水体和未利用地等土地利用类型为碳汇，碳源为建设用地，耕地因为其特殊性，即为碳源，也为碳汇。根据土地利用类型的性质，林地、草地、水体和未利用地的固碳能力逐渐减弱。在整个研究期内，林地的碳汇效应一直在增强，2000 年林地的碳汇效应为

1.00×10^6 t,2010 年为 1.28×10^6 t,到 2013 年林地的碳汇效益增加到 1.61×10^6 t。草地、水体和未利用地的碳汇效应逐渐减弱。建设用地作为主要碳源,其碳排放量占总量的 96%以上,2000 年建设用地的碳排放量为 8.74×10^5 t,2010 年为 1.46×10^6 t,到 2013 年则增加为 2.11×10^6 t。这表明建设用地的碳排放量处于增长的状态,而且增长的速度越来越快。耕地作为最特殊的土地利用类型,其碳排放变化十分明显,表现为先增后减,但是在总碳排放量中的比重一直在降低。

由表 2 可以发现,洪洞县在 2000—2013 年的 13 a间的碳排放量处于不断增长的状态下,2000 年洪洞县的净碳排放量为 -9.92×10^4 t,2010 年为 2.10×10^5 t,到 2013 年的飞速增长为 5.19×10^5 t,几乎是 2010 年的 2.5 倍。从碳源和碳汇两个方面来看。2000 年洪洞县的碳源是 9.03×10^5 t,碳汇是 1.00×10^6 t;2010 年碳源是 1.49×10^6 t,碳汇是 1.28×10^6 t;2013 年碳源则是 2.13×10^6 t,碳汇是 1.61×10^6 t。无论是碳源还是碳汇,2000—2013 年都是在增加,而且碳源和碳汇从 2000—2010 年和 2010—2013 年增加的量十分接近。但是对比碳源和碳汇各自增加的量,发现碳源的增长远远超过了碳汇的增长。对比 2000—2010 年和 2010—2013 年两个时间段,发现碳源增加的量是碳汇增加的量的 2 倍左右。因而仅依靠林地等土地利用类型的自然固碳能力根本无法解决日益严重的碳排放问题。

3.2.2　土地利用碳排放空间分析　通过采用 ArcGIS 10.0 统计处理分析,得到各个乡镇的净碳排放量(如表 3 所示)。

从洪洞县各个乡镇来看,全县各乡镇的碳排放量差异明显。主要原因是各个乡镇的经济发展状况不同,造成了各乡镇的土地利用结构的差异性。从表 3 来看,2000—2013 年洪洞县各乡镇的碳排放量具有显著性变化。2000 年洪洞县的净碳排放量为 -9.92×10^4 t,其中大槐树镇、赵城镇、辛村乡和堤村乡等 8 个乡镇的净碳排放量为正,其余各乡镇因为林地等碳汇土地利用类型占优势,为其净碳排放量负。2010 年研究区净碳排放量为负的乡镇减少为 4 个,净碳排放量超过 1.5×10^5 t 的乡镇共有 5 个。2013 年则只有山头乡、左木乡和淹底乡净碳排放量为负。研究区在研究期内,大槐树镇的净碳排放量变化不明显,主要是因为大槐树镇作为县城所在地,其土地利用结构十分稳定,变化不明显。而净碳排放量的负值乡镇主要是因为林地在其范围内的大量分布。

表 3　2000—2013 年洪洞县各乡镇净碳排放量

乡(镇)名	碳排放量/10^4 t			
	2000 年	2010 年	2013 年	平均值
山头乡	−17.86	−30.16	−86.40	−44.80
左木乡	−23.37	−48.40	−73.59	−48.46
刘家垣镇	−5.16	5.83	8.81	3.16
万安镇	−7.08	−23.45	14.54	−5.33
龙马乡	3.45	0.63	19.59	7.89
堤村乡	17.55	9.92	21.51	16.32
辛村乡	18.64	20.22	21.11	19.99
赵城镇	15.73	9.50	22.24	15.83
大槐树镇	16.46	19.14	21.20	18.93
甘亭镇	6.29	1.02	2.29	3.20
兴唐寺乡	−17.31	−26.35	15.18	−9.50
明姜镇	−8.42	3.67	13.98	3.08
广胜寺镇	−9.44	21.00	16.79	9.45
苏堡镇	−11.55	30.07	18.60	12.37
曲亭镇	7.67	27.48	17.04	17.40
淹底乡	4.48	0.89	−1.04	1.44
合 计	−9.92	20.99	51.85	20.97

4　结 论

(1) 研究区碳排放量呈现逐年增加的趋势。2000 年洪洞县的净碳排放量为 -9.92×10^4 t,2010 年洪洞县的净碳排放量为 2.01×10^4 t,到 2013 年增加至 5.19×10^5 t。其原因是社会经济条件好转,使得研究区的城市化水平发展速度不断加快,碳排放量的增幅较以前有较大的提高。

(2) 作为主要碳汇,林地的碳汇量占总碳汇量的 99%以上。2000—2013 年,林地的碳汇量增加了 6.09×10^5 t;建设用地是主要碳源,2000—2013 年,建设用地的碳排放量占总碳排放量的 96%以上,建设用地的碳排放量亦增加了 1.23×10^6 t。2010—2013 年增加的碳排放量是 2000 年的 80%。究其缘由,发现 2010—2013 年 3 a 建设用地增长的速度和规模远远超过 2000—2010 年 10 a 的增长。

(3) 从碳排放的空间分析来看,不同的区域经济条件和发展状况,导致了区域碳排放空间格局的差异性。洪洞县的净碳排放量最大的两个乡镇为大槐树镇和辛村乡,其中大槐树镇的碳排放则是最稳定的。

不同区域的碳排放问题具有其特殊性,各种土地利用类型的碳排放/吸收系数不是固定不变的,它受到区域的环境的影响。目前土地利用的碳排放问题的研究所采用的碳排放/吸收系数多采用大尺度的经验数据,故更加精确的碳排放/吸收系数仍旧需要做进一步研究。比较 2000—2010 年和 2010—2013 年

洪洞县的土地利用数据，2010—2013 年的土地利用变化巨大，主要是因为在 2010 年之后，洪洞县规划设计了洪洞赵城煤焦化深加工园、临汾甘亭新型工业园、洪洞陶瓷工业园和洪洞秦壁工业园 4 大园区，使得建设用地的规模和速度增长空前迅速。

相较于更大的区域范围，县域尺度区域中各种能源消耗所带来的碳排放问题没有那么多，因而文章直接以建设用地变化所带来的碳排放代替区域建设用地范围内的碳排放，其误差可以忽略。且作为中国行政区划中十分重要的一环，调整好县域土地利用结构，可以避免因为土地利用结果不合理所带的碳排放问题。因此，在满足县域经济发展的前提下，优化土地利用结构，能够有效的减轻碳排放问题。

[参 考 文 献]

[1] 丁一汇，任国玉，石广玉，等. 气候变化国家评估报告（Ⅰ）：中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展，2006，2(1)：38-50.

[2] Houghton R A . The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850—1990[J]. Tellus，1999，51(2)：298-313.

[3] 任书杰，曹明奎，陶波，等. 陆地生态系统氮状态对碳循环的限制作用研究进展[J]. 地理科学进展，2006，25(4)：58-67.

[4] Hutyra R ，Yoon R，Hepinstall-Cymerman J，et al. Carbon consequences of land cover change and expansion of urban lands：A case study in the seattle metropolitan region [J]. Landscape and Scape and Urban Planning，2011，103(6)：83-93.

[5] Houghton R A，Hackler J L，Lawrence K T. The U. S. Carbon buget：contributions from land-use change[J]. Science，1999，285(5427)：574-578.

[6] 葛全胜，戴君虎，何凡能，等. 过去 300 年间中国土地用、土地覆被变化与碳循环研究[J]. 中国科学：D 缉（地球科学），2008，38(2)：197-210.

[7] 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.

[8] 孙贤斌. 安徽省会经济圈土地利用变化的碳排放效益[J]. 自然资源学报，2012，27(3)：394-401.

[9] 吴仕海. 重庆市土地利用碳排放效应及低碳优化调控研究[D]. 重庆：西南大学，2013.

[10] 王茹. 上海市土地利用变化的碳排放效应研究[D]. 合肥：合肥工业大学，2013.

[11] 余雪振. 武汉市土地利用变化碳排放效应研究[D]. 武汉：华中农业大学，2013.

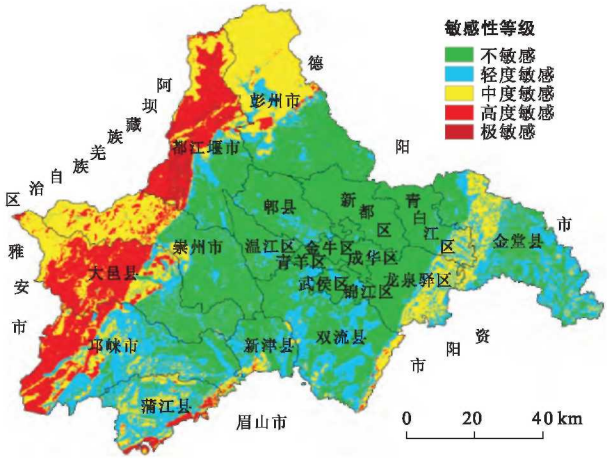
[12] 石洪昕，穆兴明，张应龙，等. 四川省广元市不同土地利用类型的碳排放效应研究[J]. 水土保持通报，2012，32(3)：101-106.

[13] 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（地球科学），2007，37(6)：804-812.

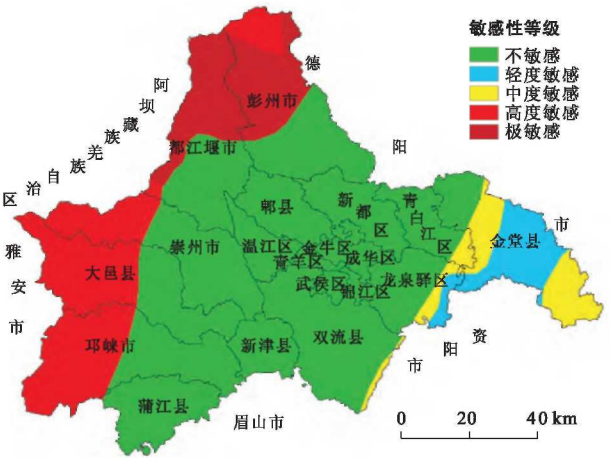
[14] Cai Zucong，Kang Guoding，Tsuruta H，et al. Estimate of CH_4 emissions from year-round flooded rice field during rice growing season in China [J]. Pedosphere，2005，15(1)：66-71.

[15] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京：南京大学，2010.

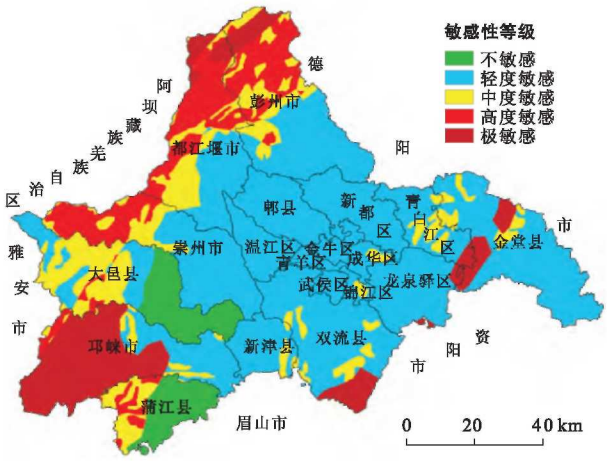
[16] 何勇. 中国气候、陆地生态系统碳循环研究[M]. 北京：气象出版社，2006.



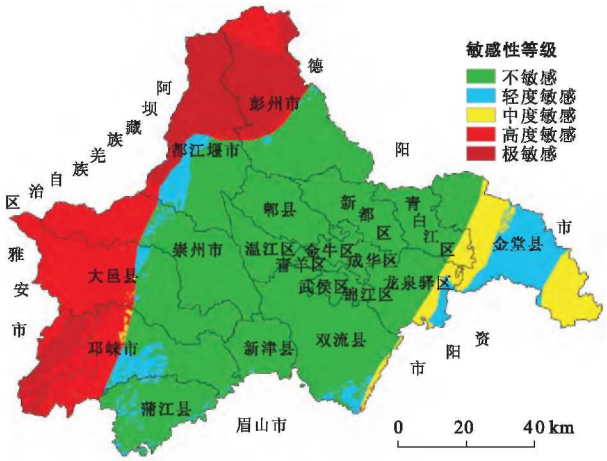
附图16　四川省成都市土壤侵蚀敏感性评价(239页)



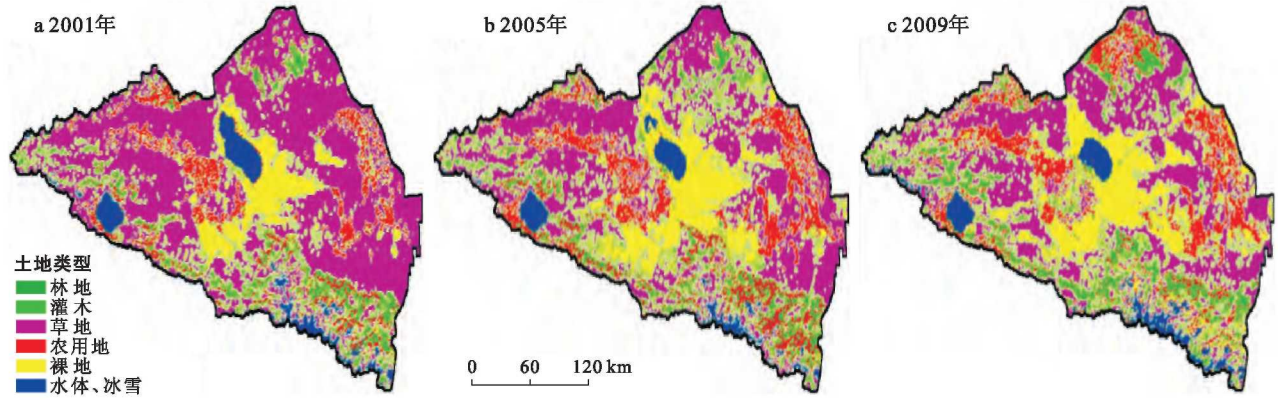
附图17　四川省成都市生境敏感性评价(239页)



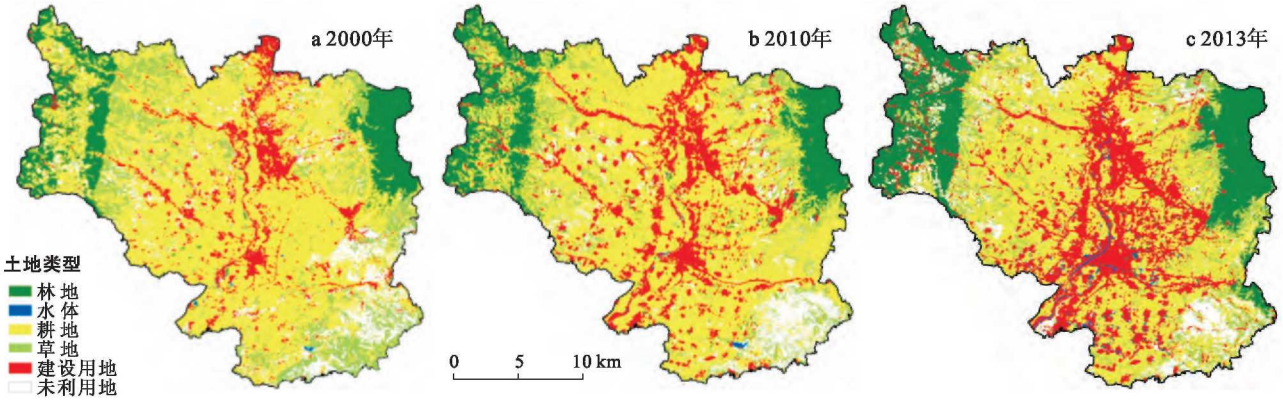
附图18　四川省成都市酸雨敏感性评价(240页)



附图19　四川省成都市生态环境敏感性评价(240页)



附图20　2001，2005和2009年艾比湖流域景观分类(251页)



附图21　2000—2013年山西省洪洞县土地利用类型分布(264页)