

# 基于RS和GIS的无锡市陆地生态系统的碳源汇估算

侯学会<sup>1,2</sup>, 牛 铮<sup>1</sup>, 黄 妮<sup>1</sup>, 王李娟<sup>1</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**基于IPCC—LULUCF建议的温室气体计量方法、遥感数据和文献资料,利用RS和GIS分析了1991~2005年无锡市土地利用变化所引起的陆地生态系统碳储量的变化,结果表明,近14 a来,无锡市土地利用变化较明显,尤其是各种土地利用类型的相互转化,使得陆地生态系统碳库储量减少 $457.18 \times 10^4$  t,是碳源。具体表现在:地上碳储量减少 $145.91 \times 10^4$  t,地下碳储量减少 $59.87 \times 10^4$  t,土壤碳储量减少 $251.40 \times 10^4$  t。无锡市各种生态系统类型中,有林地的固碳潜力最大,为 $190.71 \text{ t/hm}^2$ ,其次是草地,为 $121.186 \text{ t/hm}^2$ ,农地最小,为 $92.6 \text{ t/hm}^2$ ,有林地面积的减少,造成有林地中固定的碳大量释放,使无锡市陆地生态系统成为一个明显碳源。

**关键词:**陆地生态系统;碳源汇;无锡市;RS和GIS

**中图分类号:**TP 79;Q 141 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2011)05-0605-08

**引用格式:**Hou Xuehui, Niu Zheng, Huang Ni, *et al.* The Estimate of Carbon Source and Sink of Terrestrial Ecosystems in Wuxi based on RS and GIS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(5): 605-612. [侯学会, 牛铮, 黄妮, 等. 基于RS和GIS的无锡市陆地生态系统的碳源汇估算[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(5): 605-612.]

## 1 引言

陆地生态系统碳库存量不仅是生态系统碳循环的主要组成要素之一,而且是估算地球支持能力的一个重要指标,研究和评估陆地生态系统碳库存量有助于了解全球碳平衡和评价陆地生态系统的可持续发展<sup>[1]</sup>。众多研究表明,全球碳库(无机与有机)的总贮量估计约为 $1.0 \times 10^8 \text{ GtC}^{[1-4]}$ ,其中陆地植被的有机碳贮量为466~827 GtC,地表土壤的有机碳贮量为1 000~3 000 GtC,陆地碳库的地理分布是森林46%,热带及温带草原23%,其余贮存于耕地、湿地、苔原、高山草甸及沙漠半沙漠中。针对我国陆地生态系统碳库储量,国内外许多学者从区域尺度和全国尺度做出了大量工作,如朴世龙等<sup>[5]</sup>对我国

陆地生态系统的碳收支平衡做了系统的探究,方精云等<sup>[6-11]</sup>利用森林清查资料和文献资料估算了我国森林植被的生物量及其碳库动态变化,徐天蜀、郭志华等<sup>[12-15]</sup>利用遥感技术,估算了区域范围的森林碳储量,朴世龙等<sup>[16-18]</sup>对我国草地生态系统的碳储量进行估算,王绍强、刘纪远、周涛等<sup>[19-25]</sup>研究了我国土壤碳库储量及变化。这些研究主要关注某一单生态系统类型,对市县一级区域陆地生态系统的综合碳汇能力分析较少,尤其是对经济发展较快区域的研究更少。哥本哈根会议的召开,使得人们越来越关注经济发展过程中CO<sub>2</sub>排放问题。绿色经济概念的提出,使得人们在重视经济发展的同时,开始关注人类活动对生态系统的影响。陆地生态系统的碳

收稿日期:2011-03-15;修订日期:2011-05-12

基金项目:国家973计划项目(2010CB950603),公益性行业(气象)科研专项经费(GYHY201006042),国家自然科学基金(40971202),国家自然科学基金(41001209),“欧盟项目CEOP-AEGIS(FP7-ENV-2007-1 Grant nr. 212921)”。

作者简介:侯学会(1987—),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事全球变化遥感研究。E-mail: sxhouxh@126.com。

通讯作者:牛 铮(1965—),男,北京人,研究员,博士生导师,主要从事全球变化遥感研究。E-mail: niuz@irsa.ac.cn。

源汇功能成为研究的一个热点,并成为衡量区域绿色 GDP 增长的重要因子。

在发展、评估市县一级绿色经济的背景下,本文利用遥感数据,结合文献资料,在分析土地利用变化的基础上,对 1991 年、2001 年和 2005 年无锡市陆地生态系统的碳源汇功能及其演变加以分析,以期在城市经济发展和未来绿色经济规划提供参考。

## 2 研究区概况

无锡市位于 $119^{\circ}31' \sim 120^{\circ}36'E$ , $31^{\circ}7' \sim 32^{\circ}00'N$ 。地处长江三角洲江湖间的走廊部分,江苏省的东南部,沪宁铁路中段。东临苏州,距上海 128 km;南濒太湖,与浙江交界;西接常州,去南京 183 km;北临长江,与泰州市所辖的靖江市隔江相望,经济区位优势。无锡市以平原为主,星散分布着低山、残丘。无锡南濒太湖,北枕长江,京杭运河穿越而过,地表水丰富,外来水源补给充足,属长江下游太湖水网区。无锡市属亚热带季风海洋性气候,常年主导风为东南风,四季变化分明,气候温和湿润,雨量充沛,无霜期长,热量丰富。无锡市地处我国经济最为发达的长三角经济圈,近年来,随着无锡市经济的高速发展,快速的工业化和城市化进程使得无锡市土地利用格局变化显著。

## 3 资料与方法

### 3.1 资料来源

本文所采用的遥感数据为三期覆盖研究区的 30 m 分辨率的 ETM+ 影像,投影方式为 Gauss Kruger。作为验证数据的土地覆被图来自“国家科学数据共享工程—地球系统科学共享网”提供的“中国 1:25 万土地覆盖遥感调查与检测数据(80 s, 2005 年)”,经 ArcInfo 投影变换,投影方式如 ETM+ 影像。计算生物量的各种参数来自现有的已公开发表的文献资料。

### 3.2 研究方法

#### 3.2.1 土地利用分析

根据 IPCC—LULUCF 方法,将研究区的土地利用分为有林地、农地、草地、湿地、居住用地和其他用地 6 种用地类型。在 ENVI4.7 软件中采用监督分类,提取无锡市不同时期的各类土地利用信息。

将解译得到的 3 期无锡市土地利用图转化为矢量格式输出保存后,在软件 ArcGIS9.3 中,利用 ArcToolbox 中的 Analysis tool 菜单下的 Overlay 下的 Union 命令对无锡市 3 期土地利用图进行两

两叠加,对叠加生成的土地利用变化图进行统计分析,得到土地利用转移矩阵,从而确定土地利用相互转变状况和数量。

#### 3.2.2 陆地生态系统的碳储量估算

无锡市陆地生态系统碳储量利用生物量法求得,即用某生态系统的单位面积生物量乘以含碳率换算成碳密度,然后与该生态系统类型的覆盖面积相乘求得某一生态系统的碳储量,各单一生态系统类型的碳储量相加,可得到无锡市陆地生态系统的碳储量。在计算生物量向碳密度转换时,文中采用目前常用的转换系数 0.5(即每克干物质中的碳储量)。

根据 IPCC—LULUCF 温室气体计量方法,陆地生态系统的碳库主要包括各典型生态系统类型的地上碳储量、地下碳储量、地面枯落物和土壤碳储量及有林地生态系统中的木产品的碳储量<sup>[26]</sup>(式 1)。由于研究资料的缺乏,本文中仅对无锡市陆地生态系统的地上碳储量、地下碳储量、土壤碳储量进行估算(式 2)。

$$C_{LU} = \sum_i C_{LU_i} = \sum_i (C_{AB} + C_{BB} + C_{LI} + C_{SOC} + C_{HWP}) \quad (1)$$

$$C'_{LU} = \sum_i C_{LU_i} = \sum_i (C_{AB} + C_{BB} + C_{SOC}) \quad (2)$$

其中: $C_{LU}$ 、 $C'_{LU}$  为陆地生态系统碳储量, $C_{LU_i}$  为第  $i$  类生态系统类型的碳储量, $C_{AB}$  为地上碳储量, $C_{BB}$  为地下碳储量, $C_{LI}$  为地面枯落物的碳储量, $C_{SOC}$  为土壤碳储量, $C_{HWP}$  为木产品碳储量。

(1) 地上碳储量估算。地上碳储量主要关注长时间内有植被覆盖的有林地和草地。参考“国家科学数据共享工程—地球系统科学共享网”提供的“中国 1:25 万土地覆盖遥感调查与检测数据”,无锡市有林地的主要建群种是落叶针叶林和灌丛,且根据 20 世纪 80 年代和 2005 年无锡市土地利用统计数据知,落叶针叶林和灌丛的面积比例分别是 18.29:1、18.68:1,平均比例为 18.485:1,参考现有的文献调研资料,落叶针叶林的平均生物量为 120.601 t/hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>,灌丛林的生物量取我国灌丛林的生物量 19.76 t/hm<sup>2</sup><sup>[27]</sup>,因为研究时间段包含在检测数据的时间段内,因此,可以采用 $((120.601 \times 18.485 + 19.76 \times 1) / 19.485 = 115.426 \text{ t/hm}^2)$ 代替无锡市有林地的平均生物量,尽可能地减少估算误差。草地生态系统单位面积的生物量因子采用江苏省草地平均生物量 0.548 t/hm<sup>2</sup><sup>[16]</sup>(表 1)。

表 1 计算无锡市陆地生态系统碳储量的基本参数

Table 1 Basic parameters of calculating carbon storage in terrestrial ecosystems of Wuxi city

土地利用类型	地上生物量 t/hm <sup>2</sup>	地上碳密度 t/hm <sup>2</sup>	地上/地下 比例系数	地下生物量 t/hm <sup>2</sup>	地下碳密度 t/hm <sup>2</sup>	土壤碳密度(0~100 cm) t/hm <sup>2</sup>
有林地	115.426	57.713	4.81 <sup>[6]</sup>	23.997	11.999	120.8
草地	0.548	0.274	0.226 <sup>[28]</sup>	2.424	1.212	92.6
农地	—	—	—	—	—	119.7

(2) 地下碳储量估算:在有植被覆盖的生态系统类型中,因为农田作物周期较短,地面生物量很少,其碳库主要是进入土壤的作物残留体,因此在估算地下碳储量时,主要考虑有林地和草地两种陆地生态系统,对于农田生态系统类型,只对土壤中的碳储量进行估算。根据地上与地下部分生物量的比例系数用地上碳储量估算地下碳储量(表 1)。

(3) 土壤碳储量估算:本文在估算由于土地利用类型变化引起的土壤碳储量的变化时,忽略不同

土地利用类型转化过程中土壤碳库储量随时间的变化,并采用现有文献中估算华东区的土壤碳密度<sup>[20]</sup>对研究区的土壤碳库存量进行核算(表 1)。

4 结论与分析

利用 ENVI4.7 监督分类功能,得到无锡市 1991 年、2001 年和 2005 年的 3 期土地利用类型图(图 1)。为提高分类精度,将 ETM+ 的第 6 波段——近红外波段也参与分类,参考分类精度为 87.3%。

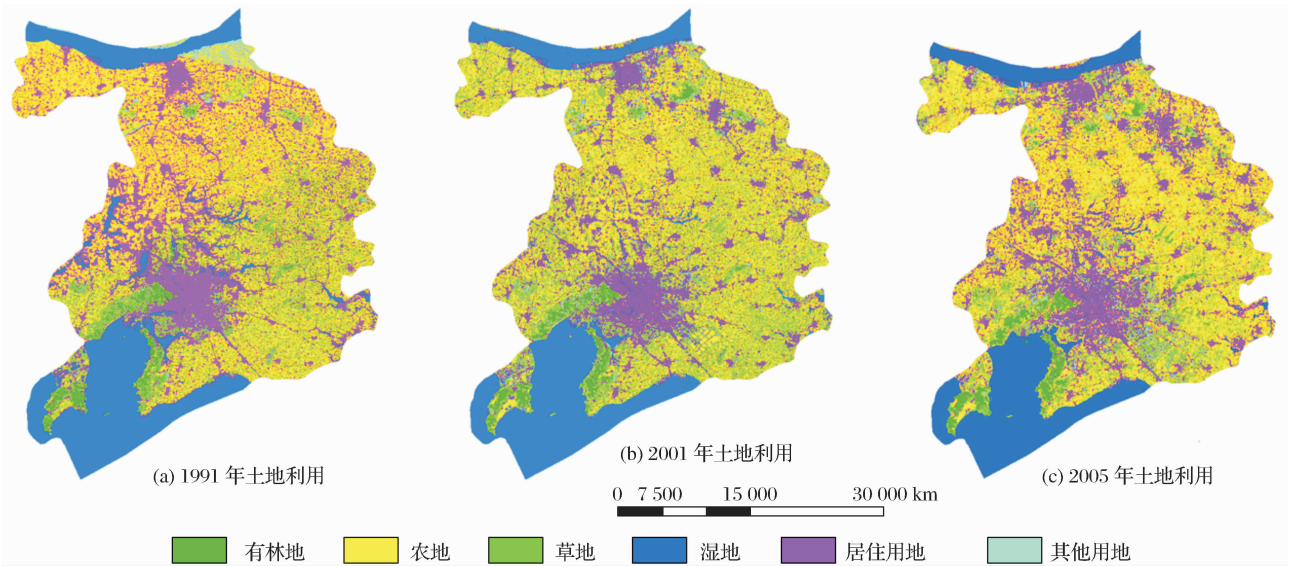


图 1 无锡市土地利用类型图  
Fig. 1 Land use images of Wuxi

4.1 土地利用变化分析

将解译得到的土地利用矢量图在 ArcGIS 9.3

中进行统计,得到研究区的土地利用面积矩阵(表 2)。

表 2 无锡市 1991~2005 年土地利用类型变化 (单位:10<sup>3</sup> hm<sup>2</sup>)

Table 2 Land use changes from 1991 to 2005 of Wuxi

土地利用类型	1991		2001		2005		面积变化		
	面积	比重/%	面积	比重/%	面积	比重/%	1991~2001	2001~2005	1991~2005
有林地	37.51	14.30	15.72	6.00	12.21	4.66	-21.79	-3.51	-25.30
农地	110.76	42.24	101.88	38.85	112.62	42.95	-8.88	10.74	1.86
草地	25.33	9.66	43.22	16.48	28.79	10.98	17.89	-14.43	3.45
湿地	52.05	19.85	44.03	16.79	42.01	16.02	-8.02	-2.02	-10.04
居住用地	36.00	13.73	52.37	19.97	61.65	23.51	16.37	9.28	25.65
其他用地	0.56	0.22	5.00	1.91	4.94	1.88	4.43	-0.06	4.37

从表 2 中可以看出,1991~2005 年间,无锡市土地利用类型发生了很大的变化,尤其是有林地、湿地的持续减少和居住用地的持续增加,而草地、农地和其他用地在整个研究时间段内变化不是很明显。与 1991 年相比,有林地的面积减少了  $25.30 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,尤其是 1991~2001 年间变化显著,减少  $21.79 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,面积比重由 1991 年的 14.30%下降到 2001 年的 6.00%。湿地在 1991~2005 年间,面积持续减少,到 2005 年,共减少  $10.04 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,比重由 1991 年的 19.85%下降到 2001 年的 16.79%,到 2005 年,减少为 16.02%;居住用地呈现持续增长的态势,在 1991~2005 年间,面积增加了 1 倍,由 1991 年的  $36 \times 10^3 \text{ hm}^2$  增加到 2005 年

的  $61.65 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。农地虽然在 1991~2001 年减少  $8.88 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,但在 2001~2005 年,农用地的面积增加了  $10.74 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,所以总体上变化不大,仅为  $1.86 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ;草地在各个时间段内的变化都比较明显,1991~2001 年,增加了  $17.89 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,但是在 2001~2005 年间,又减少了  $14.43 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,所以总体上增加面积较少,仅为  $3.45 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ;而其他用地面积增加了  $4.37 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。

为了具体分析无锡市 1991~2005 年土地利用类型的相互变化情况,利用 ArcGIS9.3 对得到的三期土地利用矢量图进行两两 Intersect 运算,得到研究区的土地利用类型变化转移矩阵(表 4、5)。

表 3 无锡市 1991~2001 年土地利用转移矩阵分析 (单位:hm<sup>2</sup>)  
Table 3 The transfer matrix of land use from 1991 to 2001 of Wuxi

1991	2001					
	有林地	农地	草地	湿地	居住用地	其他用地
有林地		17 620.00	7 648.02	256.77	4 746.15	957.60
农地	7 793.28		17 670.00	545.67	12 730.00	1 991.97
草地	1 250.19	7 366.95		122.94	4 725.54	888.93
湿地	250.20	2 644.83	966.42		5121.63	161.82
居住用地	145.35	4 212.63	5870.16	198.54		668.79
其他用地	1.89	9.72	81.00	2.70	141.66	

表 4 无锡市 2001~2005 年土地利用转移矩阵分析 (单位:hm<sup>2</sup>)  
Table 4 The transfer matrix of land use from 1991 to 2001 of Wuxi

2001	2005					
	其他用地	有林地	农地	草地	湿地	居住用地
有林地		6 707.25	1 430.91	9.81	898.11	193.23
农地	3 000.60		12 390.00	128.88	12 520.00	1 772.01
草地	2 509.11	23 510.00		71.19	7 883.82	960.66
湿地	6.39	311.94	412.65		2 279.16	116.19
居住用地	107.28	8 766.54	4 906.08	870.93		1 270.44
其他用地	105.48	1 257.66	1 363.77	27.72	1 615.05	

表 5 无锡市 1991、2001 和 2005 年地上碳储量变化分析(储量:10<sup>4</sup>t;变化率:10<sup>4</sup>t/a)  
Table 5 Changes of ground carbon storage in 1991,2001 and 2005 of Wuxi

土地利 用类型	1991		2001		2005		变化分析					
	储量	比重/%	储量	比重/%	储量	比重/%	1991~2001		2001~2005		1991~2005	
							储量	年变化率	储量	年变化率	储量	年变化率
有林地	216.48	99.68	90.73	98.71	70.47	98.89	-125.75	-12.57	-20.26	-5.06	-146.01	-10.43
草地	0.69	0.32	1.18	1.29	0.79	1.11	0.49	0.05	-0.40	-0.10	0.09	0.01
总计	217.17	100.00	91.91	100.00	71.26	100.00	-125.26	-12.53	-20.66	-5.16	-145.91	-10.42

从表 3 和表 4 中可以看出,1991~2001 和 2001~2005 年,有林地向农地、草地和居住用地的转化是

有林地面积减少的主要原因,占到有林地变化面积的 96.11%和 97.80%。农地向有林地、草地和居住

用地的转化是农地面积变化的主要原因,尤其是向草地和居住用地的转化面积,两个时间段都超过了 10 000 hm<sup>2</sup>,占农地面积变化的 74.64%和 83.56%。草地的转化方向主要是农地和居住用地,占到草地转化面积的 84.24%和 89.86%。湿地面积变化主要是居住用地的扩张,向居住用地转化的面积占湿地变化面积的 56.01%和 72.90%;居住用地向农地和草地的转化占到居住用地变化面积的 90.87%、85.88%,其他用地在 1991~2001 年间主要向居住用地转化,占到其变化面积的 59.78%,在 2001~2005 年时间段内,其他用地的转化类型比较复杂,向农地、草地和居住用地转化的比例分别为 28.78%、31.21%、36.96%。

4.2 碳储量分析

4.2.1 地上碳储量

从表 5 中可以明显地看出,有林地是地上碳储量的主要组成,占地上碳储量的 98.5%以上,因此,有林地地上碳储量的变化显著影响着无锡市地上碳库储量。1991~2005 年,有林地地上碳储量减少了 146.01×10<sup>4</sup> t,年变化率为 10.43×10<sup>4</sup> t/a,尤其是 1991~2001 年变化较明显,有林地地上碳储量减少 125.75×10<sup>4</sup> t,变化率为 12.57×10<sup>4</sup> t/a,而 2001~2005 年,年变化率为 5.06×10<sup>4</sup> t/a。与之相对应,总体上,1991~2005 年,无锡市地上碳储量大幅度减少,2005 年仅为 1991 年的 33%,减少了 145.91×10<sup>4</sup> t,年变化率为 10.42×10<sup>4</sup> t/a,1991~2001 年间,变化率为 12.53×10<sup>4</sup> t/a,2001~2005 年变化率

为 5.16×10<sup>4</sup> t/a。虽然在研究时间段内,草地的碳储量有所增加,但由于在地上碳库中占的比重较小,对地上碳库的影响很不明显。

4.2.2 地下碳储量

从表 6 中可以明显看出,在地下碳库组成中,有林地所占比重达到 78%以上。从时间变化上看,有林地地下碳储量持续减少,2005 年林下碳储量仅为 1991 年的 32.55%,14 a 储量减少了 60.71×10<sup>4</sup> t,年变化率为 4.34×10<sup>4</sup> t/a,其中,1991~2001 年,林下碳库储量减少 52.28×10<sup>4</sup> t,变化率为 5.23×10<sup>4</sup> t/a,2001~2005 年,变化减缓,年变化率下降为 2.11×10<sup>4</sup> t/a。草地地下碳储量在无锡市地下碳库组成中的比重有所上升,1991 年仅为 6.39%,2005 年上升为 19.23%,因为 1991~2001 年间有林地面积的减少和草地面积的增加,使得草地在无锡市陆地覆被中所占比重增加,草地生物量的比重增加,到 2001 年占到地下碳库储量的 21.73%,储量增加了 4.34×10<sup>4</sup> t,年变化率为 0.43×10<sup>4</sup> t/a。2001~2005 年,草地地下碳储量又减少 3.50×10<sup>4</sup> t,所以,1991~2005 年间,草地地下碳库储量变化不大,仅为 0.84×10<sup>4</sup> t。总体上看,1991~2005 年间无锡市地下碳库呈明显的下降趋势,2005 年碳库储量仅是 1991 年储量的 37.73%,减少了 59.87×10<sup>4</sup> t,年变化率为 4.28×10<sup>4</sup> t/a,特别是 1991~2001 年碳库储量减少了 47.95×10<sup>4</sup> t,变化率为 4.79×10<sup>4</sup> t/a,减幅较为明显。1991~2005 年,无锡市陆地生态系统地下碳库是一个很大的碳源。

表 6 无锡市 1991、2001 和 2005 年地下碳储量变化分析(储量:10<sup>4</sup>t;变化率:10<sup>4</sup>t/a)

土地利 用类型	1991		2001		2005		变化分析					
							1991~2001		2001~2005		1991~2005	
	储量	比重/%	储量	比重/%	储量	比重/%	储量	年变化率	储量	年变化率	储量	年变化率
有林地	90.01	93.61	37.73	78.27	29.30	80.77	—52.28	—5.23	—8.42	—2.11	—60.71	—4.34
草地	6.14	6.39	10.48	21.73	6.98	19.23	4.34	0.43	—3.50	—0.87	0.84	0.06
总计	96.15	100.00	48.20	100.00	36.28	100.00	—47.95	—4.79	—11.92	—2.98	—59.87	—4.28

4.2.3 土壤碳储量分析

分析表 7,在无锡市土壤碳储量中,有林地土壤碳库储量持续下降,所占比重逐渐减少,尤其是 1991~2001 年有林地土壤碳储量减少 263.20×10<sup>4</sup> t,年变化率为 26.32×10<sup>4</sup> t/a,2001~2005 年,有林地土壤碳储量变化减缓,年变化率下降为 10.60×10<sup>4</sup> t/a。草地生态系统土壤碳储量在 1991~2001 年虽然以 16.56×10<sup>4</sup> t/a 的年增长率

有一个较大的增加,为 165.62×10<sup>4</sup> t,但是由于 2001~2005 年间,其减少的速率更大,储量减少 133.65×10<sup>4</sup> t,年变化率为 33.41×10<sup>4</sup> t/a。总体上看,1991~2005 年草地生态系统的土壤是一个碳汇,但是增量很小,仅为 31.97×10<sup>4</sup> t。农田生态系统的土壤碳储量是无锡市土壤碳库的主要组成部分,占 65%以上,其碳库储量在整个时间段内的变化不大,1991~2005 共 14 a 间,仅增加了

22.24×10<sup>4</sup> t。从长时间段来看,无锡市农田生态系统的碳汇潜力较大,2001~2005 年间其碳储量年增加率为 32.14×10<sup>4</sup> t,为 1991~2001 年减少率的 2 倍。总体上看,1991~2005 年无锡市土壤碳库储量虽有减少,但变化数量不大,1991 年土壤

碳库储量为 2 013.49×10<sup>4</sup> t,2001 年碳库储量为 1 809.59×10<sup>4</sup> t,到 2005 年减少到 1 762.09×10<sup>4</sup> t,变化量仅为 17.96×10<sup>4</sup> t,且减少的速率从 1991~2001 年的 20.39×10<sup>4</sup> t/a 下降为 2001~2005 年的 11.88×10<sup>4</sup> t/a。

表 7 无锡市 1991、2001 和 2005 年土壤碳储量变化分析(储量:10<sup>4</sup> t;变化率:10<sup>4</sup> t/a)  
Table 7 Changes of soil carbon storage in 1991,2001 and 2005 of Wuxi

土地利 用类型	1991		2001		2005		变化分析					
							1991~2001		2001~2005		1991~2005	
	储量	比重/%	储量	比重/%	储量	比重/%	储量	年变化率	储量	年变化率	储量	年变化率
林地	453.11	22.50	189.91	10.49	147.50	8.37	-263.20	-26.32	-42.41	-10.60	-305.61	-21.83
草地	234.58	11.65	400.20	22.12	266.55	15.13	165.62	16.56	-133.65	-33.41	31.97	2.28
农田	1 325.80	65.85	1 219.49	67.39	1 348.04	76.50	-106.31	-10.63	128.55	32.14	22.24	1.59
总和	2 013.49	100.00	1 809.59	100.00	1 762.09	100.00	-203.90	-20.39	-47.50	-11.88	-251.40	-17.96

4.2.4 无锡市陆地生态系统碳汇功能分析

基于上述对无锡市 1991~2005 年地上、地下和土壤碳储量的分析,参考表 8 知,近 14 a 来无锡市陆地生态系统的碳库储量一直呈现减少趋势,1991 年无锡市陆地生态系统碳库储量为 2 326.81×10<sup>4</sup> t,到

2005 年下降到 1 869.63×10<sup>4</sup> t,减少了 19.85%,年变化率为 32.66×10<sup>4</sup> t/a,是碳源。土壤碳储量在无锡市陆地生态系统碳库储量中占 85%以上,且比重不断增大,到 2005 年土壤碳储量占无锡市陆地生态系统碳库储量的 94.25%。

表 8 无锡市陆地生态系统碳储量总变化分析(储量:10<sup>4</sup> t;变化率:10<sup>4</sup> t/a)  
Table 8 Total changes of carbon storage of terrestrial ecosystems of Wuxi

土地利 用类型	1991		2001		2005		变化分析					
							1991~2001		2001~2005		1991~2005	
	储量	比重/%	储量	比重/%	储量	比重/%	储量	年变化率	储量	年变化率	储量	年变化率
地上碳储量	217.17	9.33	91.91	4.71	71.26	3.81	-125.26	-12.53	-20.66	-5.16	-145.91	-10.42
地下碳储量	96.15	4.13	48.20	2.47	36.28	1.94	-47.95	-4.79	-11.92	-2.98	-59.87	-4.28
土壤碳储量	2 013.49	86.53	1 809.59	92.81	1 762.09	94.25	-203.90	-20.39	-47.50	-11.88	-251.40	-17.96
总和	2 326.81	100.00	1 949.71	100.00	1 869.63	100.00	-377.10	-37.71	-80.08	-20.02	-457.18	-32.66

5 结 语

本文利用遥感数据和文献资料分析了 1991~2005 年无锡市土地利用变化下的陆地生态系统碳源汇功能,根据分析,1991~2001 年无锡市的植被覆盖率从 66.2%下降到 61.33%,碳储量减少 377.10×10<sup>4</sup> t,到 2005 年植被覆盖率为 58.59%,碳库储量为 1 869.63×10<sup>4</sup> t,比 2001 年减少了 80.08×10<sup>4</sup> t,总体看来,14 a 间无锡市陆地生态系统的碳库储量减少 457.18×10<sup>4</sup> t。

从无锡市各种生态系统类型的固碳潜力看,有林地的固碳潜力最大,为 190.71 t/hm<sup>2</sup>,其次是草地,为 121.186 t/hm<sup>2</sup>,农地最小,为 92.6 t/hm<sup>2</sup>。无锡市陆地生态系统碳库储量变化主要是由于各种植被覆盖的土地利用类型之间的相互转化造成碳密

度的改变,特别是有林地向草地和农地的转化,使无锡市陆地生态系统单位面积固碳能力下降,成为一个明显碳源。无锡市在注重经济发展的同时,应注意对植被覆盖特别是有林地生态系统的保护,发展绿色经济和生态经济。

本文参考已公开发表的多篇文献中的生物量因子对无锡市陆地生态系统的碳储量进行估算,可能存在一定的误差,是今后研究中需要改进的地方。中国经济目前处于转型期,城市化进程加快,这一趋势势必导致建设用地面积不断扩大,植被覆盖率不断减少,使得陆地生态系统中固定的碳释放。如何快速、准确地评估区域经济发展过程中陆地生态系统的碳源汇功能,发展绿色经济,是当今研究的难点。遥感技术以其宏观性、实时性,可以用来探究区域陆地生态系统碳储量的空间格局及时间变化趋

势,在碳源汇估测方面发挥独特的作用。

# 参考文献(References):

- [1] Smith T M, Gramaer W P, *et al.* The Global Terrestrial Carbon Cycle[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1993, 70: 79-37.
- [2] Schlesinger W H. Biogeochemistry: An Analysis of Global Change[M]. San Diego: Academic Press, 1997.
- [3] Foley J A. An Equilibrium Model of the Terrestrial Carbon Budget[J]. *Tellus*, 1995, 47(B): 310-319.
- [4] King A W, Emanuel W R, Wullsehleger S D, *et al.* A Search of the Missing Carbon Sink: A Model of Terrestrial Biospheric Response to Land-use Change and Atmospheric CO<sub>2</sub>[J]. *Tellus*, 1995, 47(B): 501-519.
- [5] Piao S L, Fang J Y, Philippic C, *et al.* The Carbon Balance of Terrestrial Ecosystems in China[J]. *Nature*, 2009, 458: 1009-1013.
- [6] Fang Jingyun, Liu Guohua, Xu Chongling, *et al.* Biomass and Net Production of Forest Vegetation in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 497-508. [方精云, 刘国华, 徐崇龄, 等. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. *生态学报*, 1996, 16(5): 497-508.]
- [7] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, *et al.* Changes in Forest Biomass Carbon Storage in China between 1949 and 1998[J]. *Science*, 2001, 292: 2320-2322.
- [8] Fang Jingyun, Chen Anping. Dynamic Forest Biomass Carbon Pools in China and Their Significance[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2001, 43(9): 967-973. [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*, 2001, 43(9): 967-973.]
- [9] Liu Guohua, Fu Bojie, Fang Jingyun. Carbon Dynamics of Chinese Forests and Its Contribution to Global Carbon Balance[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 732-739. [刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 732-739.]
- [10] Wang Xiaoke, Feng Zongwei, Ouyang Zhiyun, *et al.* Vegetation Carbon Storage and Density of Forest Ecosystems in China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(1): 13-16. [王效科, 冯宗炜, 欧阳志云, 等. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 13-16.]
- [11] Chen Xialin. Researches on Carbon Sequestration Functions of Main Forest Types in Northern China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003. [陈遐林. 华北主要森林类型的碳汇功能研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.]
- [12] Xu Tianshu. Study on Forest Biomass and Carbon Storage Estimation based on Remote Sensing Information[J]. *Forest Inventory and Planning*, 2008, 33(3): 11-13. [徐天蜀. 基于遥感信息的森林生物量、碳储量估测技术研究[J]. *林业调查规划*, 2008, 33(3): 11-13.]
- [13] Guo Zhihua, Peng Shaolin, Wang Bosun. Estimating Forest Biomass in Western Guangdong Using Landsat TM Data[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1832-1839. [郭志华, 彭少麟, 王伯荪. 利用 TM 数据提取粤西地区的森林生物量[J]. *生态学报*, 2002, 22(11): 1832-1839.]
- [14] He Q S, Cao C X, Chen E X, *et al.* Relationship between SDA and Biomass Derived from LiDAR in Mountain Areas[J]. *Synthetic Aperture Radar*, 2009. APSAR 2009. 2nd Asian-Pacific Conference on, 2009: 136-139.
- [15] Zhang Yili, Zhang Wei, Ding Mingjun. The Difference of Computing Carbon Stocks Caused by Land Use/Cover Classifications—A Case Studied in Hainan Province[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(6): 63-70. [张镭锂, 张玮, 丁明军. 基于土地利用/覆被分类系统估算碳储量的差异——以海南省森林为例[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(6): 63-70.]
- [16] Piao Shilong, Fang Jingyun, He Jinsheng. Spatial Distribution of Grassland Biomass in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(4): 491-498. [朴世龙, 方精云, 贺金生. 中国草地植被生物量及其空间分布格局[J]. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 491-498.]
- [17] Xin Xiaoping, Zhang Baohui, Li Gang, *et al.* Variation in Spatial Pattern of Grassland Biomass in China from 1982 to 2003[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(9): 1582-1592. [辛晓平, 张保辉, 李刚, 等. 1982~2003 年中国草地生物量时空格局变化研究[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 1582-1592.]
- [18] Fan Jiangwen, Zhong Huaping, Liang Biao, *et al.* Carbon Stock in Grassland Ecosystem and Its Affecting Factors[J]. *Grassland of China*, 2003, 25(6): 51-58. [樊江文, 钟华平, 梁彪, 等. 草地生态系统碳储量及其影响因素[J]. *中国草地*, 2003, 25(6): 51-58.]
- [19] Wang Shaoqiang, Zhou Chenghu. Estimating Soil Carbon Reservoir of Terrestrial Ecosystem in China[J]. *Geographical Research*, 1999, 18(4): 349-356. [王绍强, 周成虎. 中国陆地土壤有机碳库的估算[J]. *地理研究*, 1999, 18(4): 349-356.]
- [20] Liu Jiuyan, Wang Shaoqiang, Chen Jingming, *et al.* Storages of Soil Organic Carbon and Nitrogen and Land Use Changes in China: 1990-2000[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(4): 483-496. [刘纪远, 王绍强, 陈镜明, 等. 1990~2000 年中国土壤碳氮蓄积量与土地利用变化[J]. *地理学报*, 2004, 59(4): 483-496.]
- [21] Zhang Wenjuan, Wang Shaoqiang, Chang Hua, *et al.* Application of Remote Sensing Technique in Soil Carbon Storage Researches[J]. *Progress in Geography*, 2005, 24(3): 118-126. [张文娟, 王绍强, 常华, 等. 遥感在土壤碳储量估算中的应用[J]. *地理科学进展*, 2005, 24(3): 118-126.]
- [22] Zhou Tao, Shi Peijun. Impacts of Land Use Change on Soil Organic Carbon Change in China[J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(2): 138-143. [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, 21(2): 138-143.]
- [23] Li Linghao. Land Use Change on Grassland Ecosystems of Soil Carbon Storage[J]. *Bulletin of Botany*, 1998, 22(4): 300-302. [李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳储的影响[J]. *植物学通报*, 1998, 22(4): 300-302.]
- [24] Shi Lijiang. The Research on LUCC and Soil Organic Carbon

Pool of Shanghai based on RS and GIS[D]. Shanghai: East China Normal University, 2009. [史利江. 基于遥感和 GIS 的上海土地利用变化与土壤碳库研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009. ]

[25] Wang Yanlin, Xu Xinwang, Cao Zhihong. Influence of Change in Land Use and Land Covering on Soil Carbon[J]. Journal of Chizhou College, 2008, 22(5): 83-88. [汪艳林, 许信旺, 曹志红. 土地利用和覆盖变化对土壤碳库的影响[J]. 池州学院学报, 2008, 22(5): 83-88. ]

[26] Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, *et al.* 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R]. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published: IGES, Japan, 2006: 31-32.

[27] Jin Xiaohua, Liu Honggang, Song Yongchang. A Study on the Productivity of Secondary Shrub Thicket and Shrub-Grassland in Yixian County, Anhui Province[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1990, 14(3): 267-274. [金小华, 刘宏纲, 宋永昌. 安徽黟县次生灌丛和灌草丛生产力的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(3): 267-273. ]

[28] Li Wenhua, Wang Qiji, Luo Tianxiang, *et al.* The Biological Production of the Tibetan Plateau[C]//Li Wenhua, Zhou Xingmin. The Ecological Systems and Optimal Utilization of QinghaiTibet Plateau. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998: 183-270. [李文华, 王启基, 罗天祥, 等. 青藏高原的生物生产量[C]//李文华, 周兴民. 青藏高原生态系统及优化利用模式. 广州: 广东科技出版社, 1998: 183-270. ]

# The Estimate of Carbon Source and Sink of Terrestrial Ecosystems in Wuxi based on RS and GIS

Hou Xuehui<sup>1,2</sup>, Niu Zheng<sup>1</sup>, Huang Ni<sup>1</sup>, Wang Lijuan<sup>1</sup>

(1. *The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*  
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** With its macroeconomic and real-time, Remote Sencing(RS) can be used to study the spatial pattern and time trend of carbon stock of terrestrial ecosystems. RS technology plays an important role in estimating the carbon sink function of terrestrial ecosystems. For carbon storage in terrestrial ecosystems in China, many scholars have made great results. However, most studies just concerned about a certain type of ecological system, and research on rapid economic develoment regions is even less. According to the methods in measuring greenhouse proposed by IPCC-LULUCF, using of data from Remote Sensing and literature, this paper analyses the carbon sink function of terrestrial ecosystems of Wuxi City from 1991 to 2005. As a result, the land use of Wuxi City has a great changes form 1991 to 2005, especially the conversion between different land use types is obvious. Because of the land use change, the carbon storage reduces  $145.18 \times 10^4$  t totally, so the terrestrial ecosystems is a carbon sink. Particularly: the carbon storage of ground, underground and soil decreased by  $145.91 \times 10^4$  t,  $59.87 \times 10^4$  t and  $251.40 \times 10^4$  t. As far as the carbon sequestration potential, the forest is largest for  $190.71$  t/hm<sup>2</sup>, followed by  $121.186$  t/hm<sup>2</sup> for grassland, the smallest is  $92.6$  t/hm<sup>2</sup> for agricultural land. The reduction of forest area results a number of carbon released.

**Key words:** Terrestrial ecosystems; Carbon sink and source; Wuxi City; RS and GIS